

KOREAN PATENT ABSTRACTS

(11)Publication number: 1020030056277 A  
(43)Date of publication of application: 04.07.2003

(21)Application number: 1020010086474  
(22)Date of filing: 28.12.2001

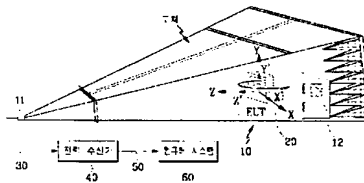
(71)Applicant: ELECTRONICS AND  
TELECOMMUNICATIONS  
RESEARCH INSTITUTE  
(72)Inventor: KWON, JONG HWA  
LEE, AE GYEONG  
PARK, HYEON HO

(51)Int. Cl. G01R 29 /08

(54) METHOD FOR MEASURING ELECTROMAGNETIC RADIATION PATTERN IN FREE SPACE USING GTEM CELL AND SYSTEM THEREOF

(57) Abstract:

PURPOSE: A method for measuring an electromagnetic radiation pattern in a free space using a GTEM cell and a system thereof are provided to predict a total radiation power and a free space radiation pattern as to an EUT(Equipment Under Test) from a power measured at an output port of the GTEM cell using a correlation between the GTEM cell and free space. CONSTITUTION: According to the method for measuring an electromagnetic radiation pattern in a free space after modeling an EUT(Equipment Under Test)(20) as a dipole moment in a GTEM cell(10), an output power at an output port(11) of the GTEM cell is measured using 24 arrangements of coordinate axes of the GTEM cell and coordinate axes of the EUT in a specific frequency band. Then, the radiation pattern or the total radiation power in the free space as to the EUT modeled as a dipole moment are predicted using the measured total output port power.



copyright KIPO 2003

Legal Status

Date of request for an examination (20011228)  
Notification date of refusal decision (00000000)  
Final disposal of an application (registration)  
Date of final disposal of an application (20041026)  
Patent registration number (1004560750000)  
Date of registration (20041028)  
Number of opposition against the grant of a patent ( )  
Date of opposition against the grant of a patent (00000000)

Number of trial against decision to refuse (2004101003764)  
Date of requesting trial against decision to refuse (20040824)

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

# (19)대한민국특허청(KR)

## (12) 공개특허공보(A)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>  
G01R 29/08

(11) 공개번호 특2003-0056277  
(43) 공개일자 2003년07월04일

(21) 출원번호 10-2001-0086474  
(22) 출원일자 2001년12월28일

(71) 출원인 한국전자통신연구원  
대전 유성구 가정동 161번지

(72) 발명자 이애경  
대전광역시유성구신성동하나아파트105동1406호  
권종화  
대전광역시중구태평1동유등마을아파트108동1704호

박현호  
대전광역시유성구가정동161번지

(74) 대리인 유미특허법인

특허청구 : 있음

### (54) GTEM 셀을 이용한 자유 공간에서의 전자파 복사 패턴측정 방법 및 그 시스템

요약

본 발명은 피시험기기를 등가의 직교 전기 및 자기 다이폴 모멘트( $\vec{P}$ ,  $\vec{M}$ )로 모델링하여, GTEM 셀 내부에 피시험기기를 위치시켜 출력단 전력을 측정하여 자유 공간에서의 전자파 복사 패턴을 예측한다. GTEM 셀의 좌표축[(x, y, z)]과 피시험기기의 좌표축[(x', y', z')]을 (xx', yy', zz'), (xy', yz', zx') 및 (xz', yx', zy')의 3가지 형태로 일치시키고 3가지 형태에서 각각 피시험기기를 y축 또는 x축을 중심으로 회전한다. y축을 중심으로 회전할 때는 중심축을 중심으로 회전한 각도( $\phi_n$ )를 각각 0,  $\pi/4$ ,  $\pi/2$ ,  $\pi$ ,  $-\pi/2$ ,  $-\pi/4$ 로 해서 측정하고, x축을 중심으로 회전할 때는 회전한 각도( $\phi_n$ )를  $\pi/4$ ,  $3\pi/4$ 로 해서 측정하여 총 24개의 측정 데이터를 획득한다. 이와 같이 측정한 전력을 이용하여 복사 패턴 예측에 필요한 계수(A~R)를 구한다.

도면도

도 2

도면어

피시험기기, GTEM 셀, 복사 패턴, 자유 공간, 다이폴 모멘트, 총 복사 전력

발명자

본 발명의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 GTEM 셀을 이용한 피시험기기의 자유 공간 복사 패턴 측정 시스템을 나타내는 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 GTEM 셀을 이용한 자유 공간에서의 전자파 복사 패턴 측정 방법을 나타내는 흐름도이다.

도 3은 등가 다이폴로 모델링된 피시험기기에 대한 자유 공간 복사 패턴 해석 구조를 나타내는 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따라 GTEM 셀 내의 피시험기기를 y축을 중심으로 회전할 때의 기본 배치[(xx', yy', z z')]를 나타내는 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따라 GTEM 셀 내의 피시험기기를 y축을 중심으로 회전할 때의 18가지 배치를 나타내는 도면이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따라 GTEM 셀 내의 피시험기기를 x축을 중심으로 회전할 때의 기본 배치[(xx', yy', z z')]를 나타내는 도면이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따라 GTEM 셀 내의 피시험기기를 x축을 중심으로 회전할 때의 6가지 배치를 나타내는 도면이다.

## 본 발명의 상세한 설명

## 본 발명의 목적

## 본 발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 GTEM 셀(Giga-hertz transverse electromagnetic cell)의 출력단에서 측정되는 전력을 이용하여 자유 공간에서의 전자파 복사 패턴을 측정하는 방법에 관한 것으로, 특히 GTEM 셀의 출력단에서 측정되는 전력을 이용하여 자유 공간 혹은 전자파 무반사실(fully anechoic chamber)에서 피시험기로부터 복사되는 전자파에 대한 정확한 정보, 즉 총 복사 전력 및 복사 패턴 등을 예측하는 방법에 관한 것이다.

유사한 종래 기술의 예를 들자면, 전자파 방해(electromagnetic interference, EMI) 또는 전자파 내성(electromagnetic susceptibility, EMS)에 대한 측정을 들 수 있으며, 이를 위해서는 환경 잡음이 낮은 야외 시험장(open area test site, OATS)이 가장 바람직하다. 그러나 최근에 전기전자 기기 사용의 증가와 방송 무선 통신 시스템의 다양화로 인해 인공 잡음이 증대하여 조건에 부합하는 부지 선정이 어렵고, 설치 비용이 매우 크며 날씨 변화에 따라 시험 계획이 변경될 수도 있는 단점이 있다. 전자파 반무반사실(semi-anechoic chamber)은 대부분의 환경 잡음을 감쇠시키므로 야외 시험장처럼 장소의 구애를 받지 않아서 도시나 제품 생산지 근처에 설치하여 운용할 수 있다. 그러나 큰 설치 공간과 많은 시설 유지 비용을 필요로 하며, 저주파 대역에서는 흡수체 벽면으로부터의 반사에 의한 공진을 완전히 제거할 수 없어 성능이 떨어진다는 문제점이 있다.

이러한 측정 시설의 단점을 보완하기 위해 고안된 대용 측정 시설 중 대표적인 것이 TEM(transverse electromagnetic) 셀이나 GTEM 셀과 같은 TEM 도파관(waveguide) 형태의 장비들이다. 이들은 본래 EMS 측정을 위한 장비이지만 협소한 공간이나 외부와의 전자파 간섭의 우려가 없고, 설치가 비교적 자유로워 여러 연구 기관에서 도파관 원리를 이용한 측정 방식을 연구 개발하여 범용적인 전자파 방해 측정 장비로서 활용하고 있다.

이와 같이 GTEM 셀을 이용하여 복사성 방출(Radiated emission)을 측정하는 종래 기술로는 P. Wilson의 논문 'On Correlating TEM Cell and OATS Emission Measurements, IEEE Trans. EMC, vol. 37, no. 1, pp.1-16, Feb. 1995', A.K. Lee의 논문 'An advanced correlation algorithm between GTEM and OATS for radiated emission tests, ETRI Journal, vol. 17, no. 3, pp. 45-63, Oct. 1995', 1997년 12월 26일 출원된 한국등록특허 제284134호 '지.디.이.엠 셀 출력단 전력을 이용한 복사 전계 측정 방법', 그리고 United States Patent 5,825,331 (등록일: Oct. 20, 1998), 'Radiated Emission Measuring Method Using GTEM Cell'이 있다.

이러한 종래 기술에서는 TEM 셀 혹은 GTEM 셀과 같은 도파관 내에 존재하는 전기적으로 작은 피시험기기를 셀의 출력단에서 측정된 전력을 이용하여 동일한 복사 패턴 혹은 전자기장 분포를 발생시키는 등가 직교의 전기 및 자기 다이폴 모멘트로 모델링한다. 다음에 GTEM 셀에서 피시험기기를 회전하면서 측정한 전력을 이용하여 모델링된 다이폴 모멘트의 크기만을 구하거나 크기와 상대적인 위상 차에 대한 정보를 얻는다. 이러한 방법으로 얻어진 피시험기기에 대한 전기적인 정보를 이용하여 총 복사 전력을 계산하거나, 피시험기기가 야외시험장 또는 반무반사실에 일정 높이에 위치하는 경우의 복사 방출을 예측한다.

그러나 본 발명은 접지면이 있는 야외시험장이나 전자파 반무반사실(semi-anechoic chamber)에서의 복사 방출 측정이 아니라 GTEM cell과 같은 TEM 도파관을 이용하여 통신 용 송신 안테나를 포함하는 임의의 복사체로부터 임의의 거리에서의 복사 패턴 및 총복사전력 획득을 주요 목적으로 한다.

이전에 안테나와 같은 복사체의 복사 패턴을 얻기 위해서는 전자파 무반사실 (fully anechoic chamber)에서 고정된 수신 안테나에 대해 복사 패턴을 얻고자하는 방향으로 피시험체의 방위를 이동시키면서 안테나로부터 전력을 수신하는 방식을 사용하였다. 이러한 방식을 위해서는 무반사실, 수신 안테나 등이 구비되어야 하고 측정시간이 오래 걸리는 단점이 있다.

본 발명에서는 위에서 설명한 GTEM 셀을 이용한 복사성 EMI 측정과 유사한 원리를 이용하여 GTEM 셀 내에 복사 패턴을 얻고자하는 피시험기기를 위치시키고 본 발명에서 제시한 알고리즘에 따른 피시험체의 방위에서 GTEM 셀 출력단 전력을 통해 피시험체를 다이폴 모멘트로 모델링한다. 그 다음 모델링된 다이폴로부터의 자유공간 복사패턴을 구하게 된다.

GTEM 셀 내의 측정 영역에 동작중인 피시험기기를 위치시키고, 기기로부터 발생되어 셀의 출력단에서 측정되는 전력을  $\frac{1}{4}|e_{\theta}(0)|^2$  로 정규화하면 [수학식 1]과 같이 된다.

$$\text{수학식 1} \\ |\tilde{a}_0|^2 = |P_y e^{j\psi_{\theta}} - jk_0 M_x e^{j\psi_{\phi}}|^2$$

여기서,  $e_{\theta}(0)$ 는 단위 전력이 GTEM 셀에 인가되었을 때 피시험기기가 위치한 지점에서의 기본 모드(fundamental mode) 전기장의 수직 성분(y 성분)이고,  $k_0$ 는 자유 공간에서의 전파 상수이다.  $P_y$ 와  $\psi_{\theta}$ 는 피시험기기의 등가 전기 다이폴 모멘트( $\vec{P}$ )의 y성분에 대한 크기와 위상을 나타내며,  $M_x$ 와  $\psi_{\phi}$ 는 등가 자기 다이폴 모멘트( $\vec{M}$ )의 x성분에 대한 크기와 위상을 나타낸다.

위의 기본 수식을 가지고 GTEM 셀의 측정 데이터를 이용하여 자유 공간에서의 복사 패턴 및 총 복사전력을 얻는 방법은 다음과 같다.

먼저 GTEM 셀에서 피시험기기를 측정하기 위해 GTEM 셀의 좌표축 (x, y, z)은 셀의 종단 방향을 +z로, 셀의 수직 방향을 +y로 설정하고, 피시험기기의 좌표축 (x', y', z')을 임의로 지정한다. 그리고 GTEM 셀의 좌표축과 피시험기기의 좌표축을 동일하게 두고(xx', yy', zz') 각 알고리즘에 따라 필요한 회전각에 대해 피시험기기를 셀의 y축을 중심으로 각도( $\phi_n$ )만큼 회전시키면서 전력을 측정한다. 다음에 GTEM 셀의 좌표계와 피시험기기의 좌표축을 다르게 놓은 상태, 즉(xy', yz', zx'), (xz', yx', zy')로 설정하고(xx', yy', zz') 경우와 같은 방법으로 셀의 수직 방향을 중심으로 피시험기기를 회전시키며 측정한다.

P. Wilson이 제안한 3방위 상관관계 알고리즘의 경우에는 셀과 피시험기기 사이의 좌표축 조합, 즉 (xx', yy', zz'), (xy', yz', zx') 그리고 (xy', yz', zx')에 대해  $\phi_n=0$ 에서 측정된 전력, 즉  $Q_0^{xx'}$ ,  $Q_0^{yy'}$  및  $Q_0^{zz'}$ 을 사용하여 등가 다이폴 모멘트의 크기에 대한 정보를 얻을 수 있다. 그리고 얻어진 다이폴의 정보와 [수학식 2]를 이용하여 피시험기기로부터의 총 복사 전력( $P_0$ )을 계산한다.

$$\text{수학식 2} \\ P_0 = 10k_0^2 \{Q_0^{xx'} + Q_0^{yy'} + Q_0^{zz'}\}$$

GTEM 셀에서 직접 측정된 총 복사 전력은 자유 공간에서의 원역장 분포 계산에 이용될 수 있다. 여기서 피시험기기를 전기적으로 매우 작다고 가정하였으므로 피시험기기의 중심에 등가 다이폴이 존재한다고 생각하여 원역장에서의 전기장 분포를 다음과 같이 간단히 예측할 수 있다. 즉, 전기적으로 작은 다이폴 모멘트에 의한 자유 공간에서의 원역장 전기장 분포는 다음 [수학식 3]과 같이 간단히 예측할 수 있다.

수학식 3

$$E_{\theta} = 30 \left( \frac{P_0}{10} \right)^{1/2} \sin \theta \frac{e^{-jk_0 r}}{r}$$

여기서 r은 다이폴 모멘트로 모델링된 피시험기기로부터 관측점까지의 거리를 나타내며,  $\theta$ 는 다이폴의 수직축과 관측점 사이의 각도이다.

마찬가지 방법으로 15방위 알고리즘을 이용하여 총 복사 전력을 계산할 수 있다. 15방위 알고리즘의 경우 피시험기기에 대한 보다 정확한 모델링을 위해 다이폴 모멘트들 사이의 상대적인 위상 차를 고려하는데 복사 전력 계산에는 이 정보가 필요 없으므로 위상이 모두 동일하다고 가정하여 계산할 수 있다.

이와 같이 기존의 방법은 피시험기기를 등가 다이폴로 모델링하고, 모델링 된 등가 다이폴을 다시 동일한 총 복사 전력을 갖는 단일 전기 다이폴로 모델링 하여 복사 패턴을 예측하는데 반해, 실제 피시험기기는 다양한 방향을 가지고 있는 전기 및 자기 다이폴들의 합으로 형성되므로 복사 패턴이 매우 복잡할 것이며 이는 총 복사 전력과 전기 다이폴에 의한 기존 기법으로 얻어진 값과 많은 차이가 발생할 것이다.

또한 [수학식 3]의 경우는 측정 위치에서 전기장의  $\theta$  성분만을 고려하고 있고, 복사 패턴 자체도 거리(r)와 다이폴의 수직 축과 관측점 사이의 각도( $\theta$ )만의 함수로 간단히 표현되지만 자유 공간에 위치한 전기 및 자기 다이폴에 의한 복사 패턴을 나타내는 [수학식 4]에서 볼 수 있듯이  $\theta$ 와 다이폴의 수평축과 관측점 사이의 각도( $\phi$ )의 함수로 표현되며 종래의 기술에서는 고려하지 않는 다이폴 모멘트 사이의 상대적인 위상이 필요하다. 즉, 기존의 방법은 피시험기기에 대해 각 전류 성분의 상대적인 위상차를 고려하지 않아 실제 피시험기기의 복사 패턴을 예측하기에는 많은 오차가 있다.

수학식 4

$$\begin{aligned} P(\theta, \phi) = & \frac{15\pi}{r^2 \lambda^2} [(P_x^2 + k_0^2 M_x^2)(\cos^2 \theta \cos^2 \phi + \sin^2 \phi) \\ & + (P_y^2 + k_0^2 M_y^2)(\cos^2 \theta \sin^2 \phi + \cos^2 \phi) \\ & + (P_z^2 + k_0^2 M_z^2) \sin^2 \theta \\ & - 2\{P_x P_y \cos(\psi_{px} - \psi_{py}) + k_0^2 M_x M_y \cos(\psi_{mx} - \psi_{my})\} \sin^2 \theta \sin \phi \cos \phi \\ & - 2\{P_y M_z \cos(\psi_{py} - \psi_{pz}) + k_0^2 M_y M_z \cos(\psi_{my} - \psi_{mz})\} \sin \theta \cos \theta \sin \phi \\ & - 2\{P_x P_z \cos(\psi_{px} - \psi_{pz}) + k_0^2 M_x M_z \cos(\psi_{mx} - \psi_{mz})\} \sin \theta \cos \theta \sin \phi \\ & + 2k_0 \{P_x M_y \sin(\psi_{px} - \psi_{my}) - P_y M_x \sin(\psi_{py} - \psi_{mx})\} \cos \theta \\ & + 2k_0 \{P_y M_z \cos(\psi_{py} - \psi_{mz}) - P_z M_y \sin(\psi_{pz} - \psi_{my})\} \sin \theta \cos \phi \\ & + 2k_0 \{P_x M_z \cos(\psi_{px} - \psi_{mz}) - P_z M_x \sin(\psi_{pz} - \psi_{mx})\} \sin \theta \sin \phi] \end{aligned}$$

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

본 발명은 GTEM 셀과 자유 공간 사이의 상관 관계를 이용하여 GTEM 셀의 출력단에서 측정된 전력으로부터 피시험기기에 대한 총 복사 전력 및 자유 공간 복사 패턴을 예측하는 것을 그 기술적 과제로 한다.

발명의 구성 및 작용

이와 같은 과제를 해결하기 위하여 본 발명은 피시험기기를 24가지 방위로 배치하여 전력을 측정한다.

본 발명의 제1 특징에 따르면, GTEM 셀에서 피시험기기를 다이폴 모멘트로 모델링한 후 자유 공간에서의 전자파 복사 패턴을 측정할 때, 먼저 특정 주파수 대역에서 GTEM 셀의 좌표축과 피시험기기의 좌표축의 24가지 배열을 이용

하여 GTEM 셀의 출력단 전력을 측정한다. 다음에, 측정된 출력단 전력을 이용하여 다이폴 모멘트로 모델링된 피시험기기에 대한 자유 공간에서의 복사 패턴 또는 총 복사 전력을 예측한다.

본 발명의 제2 특징에 따르면 피시험기기, GTEM 셀, 전력 수신기 및 컴퓨터 시스템으로 이루어지는 자유 공간에서의 복사 패턴 측정 시스템이 제공된다.

GTEM 셀 내의 피시험기기는 전기적으로 매우 작아서 등가 다이폴 모멘트로 모델링될 수 있으며, 본 발명에 따른 24가지 방위(position)로 배치되고, GTEM 셀 내부에 위치한다. 전력 수신기는 GTEM 셀의 출력단과 동축케이블로 연결되어 출력단에서 나오는 24가지 방위에서의 전력을 수신하여 전력을 측정한다. 컴퓨터 시스템은 전력 수신기와 GP IB 케이블로 연결되어 있으며 전력 수신기가 측정한 24가지 전력을 이용하여 피시험기기의 자유 공간에서의 전자파 복사 패턴을 예측한다.

이때, 본 발명의 바람직한 실시예에 따르면, 24가지 배치에서 전력을 측정할 때는 GTEM 셀의 좌표축  $[(x, y, z)]$ 과 피시험기기에 대한 좌표축  $[(x', y', z')]$ 을  $(xx', yy', zz')$ ,  $(xy', yz', zx')$  및  $(xz', yx', zy')$ 의 3가지 경우로 맞춘 후 각각 y축을 중심으로 회전하면서 6가지 방위에서 출력 전력을 측정하여 18가지 방위에서 측정하고, GTEM 셀의 좌표축과 피시험기기에 대한 좌표축을  $(xx', yy', zz')$ ,  $(xy', yz', zx')$  및  $(xz', yx', zy')$ 으로 맞춘 후 각각 x축을 중심으로 회전하면서 2가지 방위에서 출력 전력을 측정하여 6가지 방위에서 측정하여야 한다.

자세하게 설명하면, 24가지 배치는 좌표축을  $(xx', yy', zz')$ 으로 맞춘 제1 배치, 제1 배치에서 피시험기기를 y축을 중심으로 반시계 방향으로 45° 회전한 제2 배치, 제2 배치에서 45° 회전한 제3 배치, 제3 배치에서 90° 회전한 제4 배치, 제4 배치에서 90° 회전한 제5 배치 및 제5 배치에서 45° 회전한 제6 배치의 6가지 배치, 그리고, 좌표축을  $(xy', yz', zx')$ 으로 맞춘 제7 배치, 제7 배치에서 피시험기기를 Y축을 중심으로 반시계 방향으로 45° 회전한 제8 배치, 제8 배치에서 45° 회전한 제9 배치, 제9 배치에서 90° 회전한 제10 배치, 제10 배치에서 90° 회전한 제11 배치 및 제11 배치에서 45° 회전한 제12 배치의 6가지 배치, 또한 좌표축을  $(xz', yx', zy')$ 으로 맞춘 제13 배치, 제13 배치에서 피시험기기를 y축을 중심으로 반시계 방향으로 45° 회전한 제14 배치, 제14 배치에서 45° 회전한 제15 배치, 제15 배치에서 90° 회전한 제16 배치, 제16 배치에서 90° 회전한 제17 배치 및 제17 배치에서 45° 회전한 제18 배치의 6가지 배치가 있다. 그리고, 좌표축을  $(xx', yy', zz')$ 으로 맞춘 배치에서 피시험기기를 x축을 중심으로 시계 방향으로 45° 회전한 제19 배치와 제19 배치에서 90° 회전한 제20 배치, 좌표축을  $(xy', yz', zx')$ 으로 맞춘 배치에서 피시험기기를 x축을 중심으로 시계 방향으로 45° 회전한 제21 배치와 제21 배치에서 90° 회전한 제22 배치, 및 좌표축을  $(xz', yx', zy')$ 으로 맞춘 배치에서 피시험기기를 x축을 중심으로 시계 방향으로 45° 회전한 제23 배치와 제23 배치에서 90° 회전한 제24 배치이다.

이때, 24가지 배치에서 측정한 전력들( $P_1 \sim P_{24}$ )을 이 전력들로서 표현되는 총 복사 전력 또는 복사 패턴에 대한 식에 대입하여 자유 공간에서의 총 복사 전력 또는 복사 패턴을 예측하는 것이 바람직하다.

본 발명의 제3 특징에 따르면, GTEM 셀에서 피시험기기를 다이폴 모멘트로 모델링한 후 자유 공간에서의 총 복사 전력만을 측정할 때는, 특정 주파수 대역에서 GTEM 셀의 좌표축과 피시험기기의 좌표축의 12가지 배치를 이용하여 GTEM 셀의 출력단 전력을 측정한다. 다음에 측정된 출력단 전력을 이용하여 다이폴 모멘트로 모델링된 피시험기기에 대한 상기 총 복사 전력을 예측한다.

이때, 12가지 배치에는 좌표축을  $(xx', yy', zz')$ 으로 맞춘 제1 배치, 제1 배치에서 피시험기기를 Y축을 중심으로 반시계 방향으로 90° 회전한 제2 배치, 제2 배치에서 90° 회전한 제3 배치 및 제3 배치에서 90° 회전한 제4 배치가 있을 수 있으며, 좌표축을  $(xy', yz', zx')$ 으로 맞춘 제5 배치, 제5 배치에서 피시험기기를 Y축을 중심으로 반시계 방향으로 90° 회전한 제6 배치, 제6 배치에서 90° 회전한 제7 배치 및 제7 배치에서 90° 회전한 제8 배치가 있을 수 있고, 또한 좌표축을  $(xz', yx', zy')$ 으로 맞춘 제9 배치, 제9 배치에서 피시험기기를 y축을 중심으로 반시계 방향으로 90° 회전한 제10 배치, 제10 배치에서 90° 회전한 제11 배치 및 제11 배치에서 90° 회전한 제12 배치가 있다.

여기서, 12가지 배치에서 측정한 전력을 이 전력으로 표현되는 총 복사 전력에 대한 식에 대입하여 자유 공간에서의 총 복사 전력을 예측하는 것이 바람직하다.

그러면, 도면을 참고로 하여 본 발명에 따른 GTEM 셀의 출력단 전력을 이용한 자유 공간에서의 전자파 복사 패턴 측정 방법 및 그 시스템에 대하여 설명한다.

먼저, 도 1을 참조하여 본 발명의 일 실시 예에 따른 전자파 복사 패턴 측정 시스템에 대하여 설명한다.

도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 GTEM 셀을 이용한 피시험기기에 대한 자유 공간 복사 패턴 측정 시스템을 나타내는 도면이다.

도 1에 나타난 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 자유 공간 복사 패턴 측정 시스템은 GTEM 셀(10), 피시험기기(EUT)(20), 동축케이블(30), 전력 수신기(40), GPIB 케이블(50) 및 컴퓨터 시스템(60)으로 이루어진다.

GTEM 셀(10) 내부에는 전기적으로 매우 작아서 등가 다이폴로 모델링될 수 있는 임의의 복사체인 피시험기기(20)가 배치되며, GTEM 셀(10)의 출력단(11)에는 동축케이블(30)이 연결되어 있다. GTEM 셀은 일반적으로 외부와의 전자기적 차폐를 시키면서 외부에서 피시험기기를 모니터링할 수 있는 차폐창(12)을 갖는 외부도체 내에 셸텀이라는 내부도체를 갖는 측정시설이다. 피시험기기(20)가 GTEM 셀(10) 내부에 배치한 뒤 피시험기기를 정상동작하게 되면 피시험기기(20)로부터 방사 전력이 GTEM 셀 출력단을 통해 전달된다.

동축케이블(30)은 GTEM 셀(10)의 출력단(11)과 전력 수신기(40)에 연결되어 있으며, 전력 수신기(40)는 동작하는 피시험기기(20)로부터 방사된 전력을 동축케이블(30)을 통하여 수신해서 전력을 측정한다. 전력 수신기(40)는 전력의 측정값을 GPIB 케이블(50)을 통하여 컴퓨터 시스템(60)으로 전달한다. 컴퓨터 시스템(60)에는 등가 다이폴로 모델링된 피시험기기에 대한 자유 공간 복사 패턴을 예측하기 위한 방법이 프로그램되어 있어서, 측정된 전력을 이용하여 자유 공간에서의 복사 패턴을 예측한다.

이하, 도 2 내지 도 7을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 GTEM 셀을 이용한 자유 공간에서의 전자파 복사 패턴 측정 방법에 대하여 설명한다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 GTEM 셀을 이용한 자유 공간에서의 전자파 복사 패턴 측정 방법을 나타내는 흐름도이다. 도 3은 등가 다이폴로 모델링된 피시험기기에 대한 자유 공간 복사 패턴 개념을 나타내는 도면이다. 도 4는 GTEM 셀 내의 피시험기기를 y축을 중심으로 회전할 때의 기본 배치[(xx', yy', zz')]를 나타내는 도면이며, 도 5는 GTEM 셀 내의 피시험기기를 y축을 중심으로 회전할 때의 18가지 배치를 나타내는 도면이다. 도 6은 GTEM 셀 내의 피시험기기를 x축을 중심으로 회전할 때의 기본 배치[(xx', yy', zz')]를 나타내는 도면이며, 도 7은 GTEM 셀 내의 피시험기기를 x축을 중심으로 회전할 때의 6가지 배치를 나타내는 도면이다.

먼저, 피시험기기로부터 방사되는 전력을 측정하기 위하여 피시험기기를 GTEM 셀 내부에 배치한다(S201). 그리고 관심 있는 주파수 대역( $f_{\min} \sim f_{\max}$ )을 결정하고 측정하는 주파수(f)를 그 주파수 대역의 최소 주파수( $f_{\min}$ )로 설정한다(S202).

피시험기기가 관심 있는 주파수 대역에서 전기적으로 작다고 가정하면, 피시험기기를 도 3에 나타난 바와 같이 등가의 적외 전기 및 자기 다이폴 모멘트( $\vec{P}$ ,  $\vec{M}$ )로 모델링할 수 있다. 여기서, GTEM 셀의 좌표는 (x, y, z)로 나타내며, 피시험기기의 좌표는 프라임 좌표계를 사용하여 (x', y', z')으로 표현한다. 이때 자유 공간 상에 복사되는 원역장 총 복사 전력( $P_T$ )과 복사 패턴( $P(\theta, \phi)$ )은 다음 [수학식 5]와 [수학식 6]과 같다.

$$\begin{aligned} P_T &= \int_{4\pi} P(\theta, \phi) d\Omega = \frac{40\pi^2}{\lambda^2} (P_x^2 + P_y^2 + P_z^2 + k_0^2(M_x^2 + M_y^2 + M_z^2)) \\ &= \frac{40\pi^2}{\lambda^2} (|\vec{P}|^2 + k_0^2|\vec{M}|^2) \end{aligned} \quad \text{수학식 5}$$

$$\begin{aligned} P(\theta, \phi) &= \frac{15\pi}{r^2\lambda^2} [(P_x^2 + k_0^2M_x^2)(\cos^2\theta \cos^2\phi + \sin^2\phi) \\ &\quad + (P_y^2 + k_0^2M_y^2)(\cos^2\theta \sin^2\phi + \cos^2\phi) \\ &\quad + (P_z^2 + k_0^2M_z^2)\sin^2\theta \\ &\quad - 2\{P_xP_y\cos(\psi_{px'} - \psi_{py'}) + k_0^2M_xM_y\cos(\psi_{mx'} - \psi_{my'})\}\sin^2\theta \sin\phi \cos\phi \\ &\quad - 2\{P_yM_z\cos(\psi_{py'} - \psi_{pz'}) + k_0^2M_yM_z\cos(\psi_{my'} - \psi_{mz'})\}\sin\theta \cos\theta \sin\phi \\ &\quad - 2\{P_zP_x\cos(\psi_{pz'} - \psi_{px'}) + k_0^2M_zM_x\cos(\psi_{mz'} - \psi_{mx'})\}\sin\theta \cos\theta \sin\phi \\ &\quad + 2k_0\{P_xM_y\sin(\psi_{px'} - \psi_{my'}) - P_yM_x\sin(\psi_{py'} - \psi_{mx'})\}\cos\theta \\ &\quad + 2k_0\{P_yM_z\cos(\psi_{py'} - \psi_{mz'}) - P_zM_y\sin(\psi_{pz'} - \psi_{my'})\}\sin\theta \cos\phi \\ &\quad + 2k_0\{P_zM_x\cos(\psi_{pz'} - \psi_{mx'}) - P_xM_z\sin(\psi_{px'} - \psi_{mz'})\}\sin\theta \sin\phi] \end{aligned} \quad \text{수학식 6}$$



여기서,  $P_{x'}$ ,  $P_{y'}$  및  $P_{z'}$ 는 전기 다이폴 모멘트( $\vec{P}$ )의 세 직교 성분의 크기이며  $\psi_{px'}$ ,  $\psi_{py'}$  및  $\psi_{pz'}$ 은 각 성분의 위상이고,  $M_{x'}$ ,  $M_{y'}$  및  $M_{z'}$ 는 자기 다이폴 모멘트( $\vec{M}$ )의 세 직교 성분의 크기이며  $\psi_{mx'}$ ,  $\psi_{my'}$  및  $\psi_{mz'}$ 은 각 성분의 위상이다. 그리고  $\Theta$  및  $\phi$ 는 좌표계의 좌표에 해당한다.

[수학식 6]을 간단히 표현하기 위해 [수학식 7]을 이용하여 [수학식 5]와 [수학식 6]을 계수(A~R)를 사용하여 나타낼 수 있다.

$$\text{수학식 7} \\ A + k_0^2 D = P_{x'}^2 + k_0^2 M_{x'}^2,$$

$$B + k_0^2 E = P_{y'}^2 + k_0^2 M_{y'}^2,$$

$$C + k_0^2 F = P_{z'}^2 + k_0^2 M_{z'}^2,$$

$$G = P_{x'} P_{y'} \cos(\psi_{px'} - \psi_{py'}) = P_{x'} P_{y'} C_{mx'y'},$$

$$H = P_{y'} P_{z'} \cos(\psi_{py'} - \psi_{pz'}) = P_{y'} P_{z'} C_{my'z'},$$

$$I = P_{z'} P_{x'} \cos(\psi_{pz'} - \psi_{px'}) = P_{z'} P_{x'} C_{mz'x'},$$

$$J = M_{x'} M_{y'} \cos(\psi_{mx'} - \psi_{my'}) = M_{x'} M_{y'} C_{mx'y'},$$

$$K = M_{y'} M_{z'} \cos(\psi_{my'} - \psi_{mz'}) = M_{y'} M_{z'} C_{my'z'},$$

$$L = M_{z'} M_{x'} \cos(\psi_{mz'} - \psi_{mx'}) = M_{z'} M_{x'} C_{mz'x'},$$

$$M = P_{x'} M_{y'} \sin(\psi_{px'} - \psi_{my'}) = P_{x'} M_{y'} S_{x'y'},$$

$$N = P_{y'} M_{z'} \sin(\psi_{py'} - \psi_{mz'}) = P_{y'} M_{z'} S_{y'z'},$$

$$O = P_{z'} M_{x'} \sin(\psi_{pz'} - \psi_{mx'}) = P_{z'} M_{x'} S_{z'x'},$$

$$P = P_{y'} M_{x'} \sin(\psi_{py'} - \psi_{mx'}) = P_{y'} M_{x'} S_{y'x'},$$

$$Q = P_{z'} M_{y'} \sin(\psi_{pz'} - \psi_{my'}) = P_{z'} M_{y'} S_{z'y'},$$

$$R = P_{x'} M_{z'} \sin(\psi_{px'} - \psi_{mz'}) = P_{x'} M_{z'} S_{x'z'}.$$

[수학식 5], [수학식 6] 및 [수학식 7]에서 알 수 있듯이 피시험기기에 의해 자유 공간으로 복사되는 총 복사 전력을 구하기 위해서는 A, B, C, D, E 및 F에 대한 정보를, 그리고 복사 패턴을 얻기 위해서는 계수(A~R)에 대한 정보를 구해야 한다. 이러한 계수(A~R)에 대한 정보는 피시험기기를 GTEM 셀 내부에 배치하고 적절히 회전하면서 GTEM 셀에 연결된 전력 수신기로 피시험기기로부터 복사되는 전 자파의 전력 또는 전압을 측정하고 그 값들을 이용하여 구할 수 있다.

후, GTEM 셀의 좌표축[(x, y, z)]과 피시험기기의 좌표축[(x', y', z')]을 일치시키고 피시험기기를 Y축 또는 X축을 중심으로 회전한다. Y축을 중심으로 회전할 때는 회전한 각도( $\phi_n$ )를 각각 0,  $\pi/4$ ,  $\pi/2$ ,  $\pi$ ,  $-\pi/2$ ,  $-\pi/4$ 로 해서 측정하고, X축을 중심으로 회전할 때는 회전한 각도( $\phi_n$ )를  $\pi/4$ ,  $3\pi/4$ 로 해서 측정한다. 이와 같이 측정한 전력을  $\frac{1}{4}|e_{\theta}(\phi)|^2$ 로 나눈 정규화된 값을 이용하면 필요한 계수(A~R)를 구할 수 있다. 이때, 정규화된 전력을  $|\vec{a}_{\theta m}|_{\phi_n}^2$ 로 표

언하며 여기서  $m$ 은 GTEM 셀과 피시험기기의 좌표 배치와 회전 중심축에 따라 정한 값이다.

이하, 이에 대하여 도 2 및 도 4 내지 도 7을 이용하여 자세히 설명한다.

### 1. Y축을 중심으로 한 회전

먼저 도 4에 나타난 바와 같이, GTEM 셀의 좌표축  $[(x, y, z)]$ 과 피시험기기의 좌표축  $[(x', y', z')]$ 을 각각  $(xx', yy', zz')$  ( $m=1$ ),  $(xy', yz', zx')$  ( $m=2$ ) 그리고  $(xz', yx', zy')$  ( $m=3$ )로 맞추고 회전한다.

#### 1.1 $(xx', yy', zz')$ 의 경우 ( $m$ 이 1인 경우)

도 5에서 배치 1 내지 배치 6으로 나타난 바와 같이, GTEM 셀의 좌표축  $[(x, y, z)]$ 과 피시험기기의 좌표축  $[(x', y', z')]$ 을  $(xx', yy', zz')$  (기본 배치)으로 맞추고 (S211)  $y$ 축을 중심으로 반시계 방향으로  $0, \pi/4, \pi/2, \pi, -\pi/2, -\pi/4$ 만큼 회전하면서 전력을 측정한다 (S212). 이때 측정된 전력을 각각  $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5$  및  $P_6$ 으로 나타낸다.

$(xx', yy', zz')$ 의 상태에서  $y$ 축을 중심으로 시계 반대 방향으로  $\phi_n$ 만큼 회전했을 때의 좌표 변환식은 다음 [수학식 8]과 같이 되고,

수학식 8

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C\phi_n & 0 & S\phi_n \\ 0 & 1 & 0 \\ -S\phi_n & 0 & C\phi_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix}$$

이때 [수학식 1]의 다이폴 성분 ( $P_y e^{j\psi_n}, M_x e^{j\psi_n}$ )은 각각

$P_y e^{j\psi_n}, M_x e^{j\psi_n} \cos \phi_n + M_z e^{j\psi_n} \sin \phi_n$ 으로 되며, 이를 [수학식 1]에 대입하여 정리하면 정규화된 전력 ( $|\tilde{a}_{01}|^2$ )은 다음 [수학식 9]와 같이 된다.

수학식 9

$$\begin{aligned} & P_y^2 + k_0^2 [M_x^2 \cos^2 \phi_n + M_z^2 \sin^2 \phi_n + 2M_x M_z C_{mx'x'} \cos \phi_n \sin \phi_n] \\ & - 2k_0 [P_y M_x S_{y'x'} \cos \phi_n + P_y M_z S_{y'z'} \sin \phi_n] \end{aligned}$$

이 식의  $\phi_n$ 에 각각  $0, \pi/4, \pi/2, \pi, -\pi/2, -\pi/4$ 을 대입하여  $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5$  및  $P_6$ 을 구하면 [수학식 10]의 (a) 내지 (f)와 같이 된다.

수학식 10

$$(a) P_1 = |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=0}^2 = P_y^2 + k_0^2 M_x^2 - 2k_0 P_y M_x S_{y'x'} = B + k_0^2 D - 2k_0 P$$

$$\begin{aligned} (b) P_2 = |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=\pi/4}^2 &= P_y^2 + \frac{1}{2} k_0^2 [M_x^2 + M_z^2 + 2M_x M_z C_{mx'x'}] - \sqrt{2} k_0 [P_y M_x S_{y'x'} + P_y M_z S_{y'z'}] \\ &= B + \frac{1}{2} k_0^2 [D + F + 2L] - \sqrt{2} k_0 [P + N] \end{aligned}$$

$$(c) P_3 = |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=\pi/2}^2 = P_y^2 + k_0^2 M_z^2 - 2k_0 P_y M_z S_{y'z'} = B + k_0^2 F - 2k_0 N$$

$$(d) \quad P_1 = |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=\pi}^2 = P_y^2 + k_0^2 M_x^2 + 2k_0 P_y M_x S_{y,x'} = B + k_0^2 D + 2k_0 P$$

$$(e) \quad P_3 = |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=-\pi/2}^2 = P_y^2 + k_0^2 M_z^2 + 2k_0 P_y M_z S_{y,z'} = B + k_0^2 F + 2k_0 N$$

$$(f) \quad \begin{aligned} P_6 &= |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=-\pi/4}^2 = P_y^2 + \frac{1}{2} k_0^2 [M_x^2 + M_z^2 - 2M_x M_z C_{mz,x'}] + \sqrt{2} k_0 [P_y M_x S_{y,x'} - P_y M_z S_{y,z'}] \\ &= B + \frac{1}{2} k_0^2 [D + F - 2L] + \sqrt{2} k_0 [P - N] \end{aligned}$$

[수학식 10]을 이용하여 계수 L, N, P, B+k<sub>0</sub><sup>2</sup>D, B+k<sub>0</sub><sup>2</sup>F에 대한 연립 방정식을 풀어서 이를 구하면 [수학식 11]의 (a) 내지(e)와 같이 된다.

$$(a) \quad P = \frac{\text{수학식 11}}{4k_0} = \frac{|\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=\pi}^2 - |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=0}^2}{4k_0} = \frac{P_4 - P_1}{4k_0}$$

$$(b) \quad N = \frac{|\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=-\pi/2}^2 - |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=\pi/2}^2}{4k_0} = \frac{P_5 - P_3}{4k_0}$$

$$(c) \quad L = \frac{|\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=\pi/4}^2 - |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=-\pi/4}^2 + 2\sqrt{2}k_0 N}{2k_0^2} = \frac{P_2 - P_6 + 2\sqrt{2}k_0 N}{2k_0^2}$$

$$(d) \quad B + k_0^2 D = \frac{|\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=0}^2 + |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=\pi}^2}{2} = \frac{P_1 + P_4}{2}$$

$$(e) \quad B + k_0^2 F = \frac{|\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=\pi/2}^2 + |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=-\pi/2}^2}{2} = \frac{P_3 + P_5}{2}$$

1.2 (xy', yz', zx')의 경우 (m이 2인 경우)

다음에 피시험기기의 좌표축을 z축을 중심으로 시계 방향으로 90° 회전하고 다시 x축을 중심으로 시계 방향으로 90° 만큼 회전하여 맞춘 상태[(xy', yz', zx')]에서(S221) 1.1의 경우와 마찬가지로 GTEM 셀의 y축을 중심으로 0, π/4, π/2, π, 3π/2, -π/2, -π/4만큼 회전하면서 전력을 측정한다(S222)(도 5의 배치 7 내지 배치 12). 이때 측정된 전력을 각각 P<sub>7</sub>, P<sub>8</sub>, P<sub>9</sub>, P<sub>10</sub>, P<sub>11</sub> 및 P<sub>12</sub>로 나타낸다.

(xy', yz', zx')의 상태에서 y축을 중심으로 시계 반대 방향으로 φ<sub>n</sub> 만큼 회전했을 때의 좌표 변환식은 다음 [수학식 12]와 같이 되고,

$$\text{수학식 12} \quad \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C\phi_n & 0 & S\phi_n \\ 0 & 1 & 0 \\ -S\phi_n & 0 & C\phi_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y' \\ z' \\ x' \end{bmatrix}$$

이때 [수학식 1]의 다이폴 성분( P<sub>y</sub>e<sup>kw<sub>n</sub></sup>, M<sub>x</sub>e<sup>kw<sub>n</sub></sup> )은 각각

$P_z e^{i\psi_{Pz}} M_y e^{i\psi_{My}} \cos \phi_n + M_x e^{i\psi_{Mx}} \sin \phi_n$  으로 되며, 이를 [수학식 1]에 대입하여 정리하면 정규화된 전력(  $|\tilde{a}_{02}|^2$  )은 다음 [수학식 13]과 같이 된다.

$$\begin{aligned} & \text{수학식 13} \\ & P_z^2 + k_0^2 [M_y^2 \cos^2 \phi_n + M_x^2 \sin^2 \phi_n + 2M_x M_y C_{mx'y'} \cos \phi_n \sin \phi_n] \\ & - 2k_0 [P_z M_y S_{z'y'} \cos \phi_n + P_z M_x S_{z'x'} \sin \phi_n] \end{aligned}$$

이 식의  $\phi_n$  에 각각  $0, \pi/4, \pi/2, \pi, -\pi/2, -\pi/4$  를 대입하여  $P_7, P_8, P_9, P_{10}, P_{11}$  및  $P_{12}$  를 구하면 [수학식 14]의 (a) 내지 (f)와 같이 된다.

$$\begin{aligned} & \text{수학식 14} \\ & (a) P_7 = |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=0}^2 = P_z^2 + k_0^2 M_y^2 - 2k_0 P_z M_y S_{z'y'} = C + k_0^2 E - 2k_0 Q \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (b) P_8 = |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=\pi/4}^2 = P_z^2 + \frac{1}{2} k_0^2 [M_y^2 + M_x^2 + 2M_x M_y C_{mx'y'}] - \sqrt{2} k_0 [P_z M_y S_{z'y'} + P_z M_x S_{z'x'}] \\ & = C + \frac{1}{2} k_0^2 [E + D + 2J] - \sqrt{2} k_0 [Q + O] \end{aligned}$$

$$(c) P_9 = |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=\pi/2}^2 = P_z^2 + k_0^2 M_x^2 - 2k_0 P_z M_x S_{z'x'} = C + k_0^2 D - 2k_0 O$$

$$(d) P_{10} = |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=\pi}^2 = P_z^2 + k_0^2 M_y^2 + 2k_0 P_z M_y S_{z'y'} = C + k_0^2 E + 2k_0 Q$$

$$(e) P_{11} = |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=-\pi/2}^2 = P_z^2 + k_0^2 M_x^2 + 2k_0 P_z M_x S_{z'x'} = C + k_0^2 D + 2k_0 O$$

$$\begin{aligned} & (f) P_{12} = |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=-\pi/4}^2 = P_z^2 + \frac{1}{2} k_0^2 [M_y^2 + M_x^2 - 2M_x M_y C_{mx'y'}] - \sqrt{2} k_0 [P_z M_y S_{z'y'} - P_z M_x S_{z'x'}] \\ & = C + \frac{1}{2} k_0^2 [E + D - 2J] - \sqrt{2} k_0 [Q - O] \end{aligned}$$

[수학식 14]를 이용하여 계수 Q, O, J,  $C + k_0^2 E$ ,  $C + k_0^2 D$ 에 대한 연립 방정식을 풀어서 이를 구하면 [수학식 15]의 (a) 내지 (e)와 같이 된다.

$$\begin{aligned} & \text{수학식 15} \\ & (a) Q = \frac{|\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=\pi}^2 - |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=0}^2}{4k_0} = \frac{P_{10} - P_7}{4k_0} \end{aligned}$$

$$(b) O = \frac{|\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=-\pi/2}^2 - |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=\pi/2}^2}{4k_0} = \frac{P_{11} - P_9}{4k_0}$$

$$(c) J = \frac{|\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=\pi/4}^2 - |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=-\pi/4}^2 + 2\sqrt{2}k_0 O}{2k_0^2} = \frac{P_8 - P_{12} + 2\sqrt{2}k_0 O}{2k_0^2}$$

$$(d) C + k_0^2 E = \frac{|\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=0}^2 + |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=\pi}^2}{2} = \frac{P_7 + P_{10}}{2}$$

$$(e) C + k_0^2 D = \frac{|\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=\pi/2}^2 + |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=-\pi/2}^2}{2} = \frac{P_9 + P_{11}}{2}$$

1.3 (xz', yx', zy')의 경우 (m이 3인 경우)

다음에 피시험기기의 좌표축을 z축을 중심으로 시계방향으로 90° 회전하고 다시 x축을 중심으로 시계방향으로 90° 만큼 회전하여 맞춘 상태[(xz', yx', zy')]에서(S231) 1.1의 경우와 마찬가지로 GTEM 셀의 y축을 중심으로 0,  $\pi/4$ ,  $\pi/2$ ,  $\pi$ ,  $-\pi/2$ ,  $-\pi/4$ 만큼 회전하면서 전력을 측정한다(S232)(도 5의 배치 13 내지 배치 18). 이때 측정된 전력을 각각 P<sub>13</sub>, P<sub>14</sub>, P<sub>15</sub>, P<sub>16</sub>, P<sub>17</sub> 및 P<sub>18</sub>로 나타낸다.

(xz', yx', zy')의 상태에서 y축을 중심으로 시계 반대 방향으로  $\phi_n$  만큼 회전했을 때의 좌표 변환식은 다음 [수학식 16]과 같이 되고,

$$\begin{matrix} \text{수학식 16} \\ \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C\phi_n & 0 & S\phi_n \\ 0 & 1 & 0 \\ -S\phi_n & 0 & C\phi_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z' \\ x' \\ y' \end{bmatrix} \end{matrix}$$

이때 [수학식 1]의 다이폴 성분( $P_x e^{j\phi_n}$ ,  $M_x e^{j\phi_n}$ )은 각각

$P_x e^{j\phi_n}$ ,  $M_x e^{j\phi_n} \cos \phi_n + M_y e^{j\phi_n} \sin \phi_n$  으로 되며, 이를 [수학식 1]에 대입하여 정리하면 정규화된 전력( $|\tilde{a}_{03}|^2$ )은 다음 [수학식 17]과 같이 된다.

$$\begin{matrix} \text{수학식 17} \\ P_x^2 + k_0^2 [M_x^2 \cos^2 \phi_n + M_y^2 \sin^2 \phi_n + 2M_y M_x C_{my'x'} \cos \phi_n \sin \phi_n] \\ - 2k_0 [P_x M_x S_{x'z'} \cos \phi_n + P_x M_y S_{x'y'} \sin \phi_n] \end{matrix}$$

이 식의  $\phi_n$ 에 각각 0,  $\pi/4$ ,  $\pi/2$ ,  $\pi$ ,  $-\pi/2$ ,  $-\pi/4$ 를 대입하여 P<sub>13</sub>, P<sub>14</sub>, P<sub>15</sub>, P<sub>16</sub>, P<sub>17</sub> 및 P<sub>18</sub>을 구하면 [수학식 18]의 (a) 내지 (f)와 같이 된다.

$$\begin{matrix} \text{수학식 18} \\ (a) P_{13} = |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=0}^2 = P_x^2 + k_0^2 M_x^2 - 2k_0 P_x M_x S_{x'z'} = A + k_0^2 F - 2k_0 R \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} (b) P_{14} = |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=\pi/4}^2 = P_x^2 + \frac{1}{2} k_0^2 [M_x^2 + M_y^2 + 2M_y M_x C_{my'x'}] - \sqrt{2} k_0 [P_x M_x S_{x'z'} + P_x M_y S_{x'y'}] \\ = A + \frac{1}{2} k_0^2 [F + E + 2K] - \sqrt{2} k_0 [R + M] \end{matrix}$$

$$(c) P_{15} = |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=\pi/2}^2 = P_x^2 + k_0^2 M_y^2 - 2k_0 P_x M_y S_{x'y'} = A + k_0^2 E - 2k_0 M$$

$$(d) P_{16} = |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=\pi}^2 = P_x^2 + k_0^2 M_x^2 + 2k_0 P_x M_x S_{x'z'} = A + k_0^2 F + 2k_0 R$$

$$(e) \quad P_{17} = |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n = -\pi/2}^2 = P_x^2 + k_0^2 M_y^2 + 2k_0 P_x M_y S_{x'y'} = A + k_0^2 E + 2k_0 M$$

$$(f) \quad \begin{aligned} P_{18} &= |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n = -\pi/4}^2 = P_x^2 + \frac{1}{2} k_0^2 [M_x^2 + M_y^2 - 2M_x M_y C_{my'x'}] - \sqrt{2} k_0 [P_x M_x S_{x'z'} - P_x M_y S_{x'y'}] \\ &= A + \frac{1}{2} k_0^2 [F + E - 2K] - \sqrt{2} k_0 [R - M] \end{aligned}$$

[수학식 18]을 이용하여 계수 R, M, K, A+k<sub>0</sub><sup>2</sup>F, A+k<sub>0</sub><sup>2</sup>E에 대한 연립 방정식을 풀어서 이를 구하면 [수학식 19]의 (a) 내지 (e)와 같이 된다.

$$(a) \quad R = \frac{\text{수학식 19}}{4k_0} = \frac{|\tilde{a}_{03}|_{\phi_n = \pi}^2 - |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n = 0}^2}{4k_0} = \frac{P_{16} - P_{13}}{4k_0}$$

$$(b) \quad M = \frac{|\tilde{a}_{03}|_{\phi_n = -\pi/2}^2 - |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n = \pi/2}^2}{4k_0} = \frac{P_{17} - P_{15}}{4k_0}$$

$$(c) \quad K = \frac{|\tilde{a}_{03}|_{\phi_n = \pi/4}^2 - |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n = -\pi/4}^2 + 2\sqrt{2}k_0 M}{2k_0^2} = \frac{P_{14} - P_{18} + 2\sqrt{2}k_0 M}{2k_0^2}$$

$$(d) \quad A + k_0^2 F = \frac{|\tilde{a}_{03}|_{\phi_n = 0}^2 + |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n = \pi}^2}{2} = \frac{P_{13} + P_{16}}{2}$$

$$(e) \quad A + k_0^2 E = \frac{|\tilde{a}_{03}|_{\phi_n = \pi/2}^2 + |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n = -\pi/2}^2}{2} = \frac{P_{15} + P_{17}}{2}$$

## 2. X축을 중심으로 한 회전

다음에 도 6에 나타난 바와 같이, GTEM 셀의 좌표축[(x, y, z)]과 피시험기기의 좌표축[(x', y', z')]을 각각 (xx', yy', zz')(m=4), (xy', yz', zx')(m=5) 그리고 (xz', yx', zy')(m=6)로 맞추고 회전한다.

### 2.1 (xx', yy', zz')의 경우 (m이 4인 경우)

도 7에서 배치 19 및 배치 20으로 나타난 바와 같이, GTEM 셀의 좌표축[(x, y, z)]과 피시험기기의 좌표축[(x', y', z')]을 (xx', yy', zz')으로 맞추고(S241) x축을 중심으로 시계 방향으로  $\pi/4, 3\pi/4$ 만큼 회전하면서 전력을 측정한다(S242). 이때 측정된 전력을 각각 P<sub>19</sub> 및 P<sub>20</sub>으로 나타낸다.

(xx', yy', zz')의 상태에서 x축을 중심으로 시계 방향으로  $\phi_n$ 만큼 회전했을 때의 좌표 변환식은 다음 [수학식 20]과 같이 되고,

$$\text{수학식 20} \quad \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C\phi_n & S\phi_n \\ 0 & -S\phi_n & C\phi_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix}$$

이때 [수학식 1]의 다이폴 성분( $P_y e^{j\phi_n}, M_x e^{j\phi_n}$ )은 각각

$P_y e^{j\psi_{P_y}} \cos \phi_m + P_z e^{j\psi_{P_z}} \sin \phi_m$ ,  $M_x e^{j\psi_{M_x}}$  으로 되며, 이를 [수학식 1]에 대입하여 정리하면 정규화된 전력(  $|\bar{a}_{04}|^2$  )은 다음 [수학식 21]과 같이 된다.

$$\begin{aligned} & \text{수학식 21} \\ & k_0^2 M_x^2 + P_y^2 \cos^2 \phi_m + P_z^2 \sin^2 \phi_m + 2P_y P_z C_{\psi_{P_y} P_z} \cos \phi_m \sin \phi_m \\ & - 2k_0 [P_y M_x S_{\psi_{P_y} M_x} \cos \phi_m + P_z M_x S_{\psi_{P_z} M_x} \sin \phi_m] \end{aligned}$$

이 식의  $\phi_m$  에 각각  $\pi/4$ ,  $3\pi/4$ 를 대입하여  $P_{19}$  및  $P_{20}$  을 구하면 [수학식 22]의 (a) 및 (b)와 같이 된다.

$$\begin{aligned} & \text{수학식 22} \\ (a) \quad P_{19} &= |\bar{a}_{04}|_{\phi_m=\pi/4}^2 = k_0^2 M_x^2 + \frac{1}{2} [P_y^2 + P_z^2 + 2P_y P_z C_{\psi_{P_y} P_z}] - \sqrt{2} k_0 [P_y M_x S_{\psi_{P_y} M_x} + P_z M_x S_{\psi_{P_z} M_x}] \\ &= k_0^2 D + \frac{1}{2} [B + C + 2H] - \sqrt{2} k_0 [P + O] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (b) \quad P_{20} &= |\bar{a}_{04}|_{\phi_m=3\pi/4}^2 = k_0^2 M_x^2 + \frac{1}{2} [P_y^2 + P_z^2 - 2P_y P_z C_{\psi_{P_y} P_z}] - \sqrt{2} k_0 [-P_y M_x S_{\psi_{P_y} M_x} + P_z M_x S_{\psi_{P_z} M_x}] \\ &= k_0^2 D + \frac{1}{2} [B + C - 2H] - \sqrt{2} k_0 [-P + O] \end{aligned}$$

2.2 (xy', yz', zx')의 경우 (m이 5인 경우)

다음에 피시험기기의 좌표축을 z축을 중심으로 시계 방향으로 90° 회전하고 다시 x축을 중심으로 시계 방향으로 90° 만큼 회전하여 맞춘 상태[(xy', yz', zx')]에서(S251) 2.1의 경우와 마찬가지로 GTEM 셀의 x축을 중심으로  $\pi/4$ ,  $3\pi/4$ 만큼 회전하면서 전력을 측정한다(S252)(도 7의 배치 21 내지 배치 22). 이때 측정된 전력을 각각  $P_{21}$  및  $P_{22}$  로 나타낸다.

(xy', yz', zx')의 상태에서 x축을 중심으로 시계 방향으로  $\phi_m$  만큼 회전했을 때의 좌표 변환식은 다음 [수학식 23]과 같이 되고,

$$\begin{aligned} & \text{수학식 23} \\ \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C\phi_m & S\phi_m \\ 0 & -S\phi_m & C\phi_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y' \\ z' \\ x' \end{bmatrix} \end{aligned}$$

이때 [수학식 1]의 다이폴 성분(  $P_y e^{j\psi_{P_y}}$ ,  $M_x e^{j\psi_{M_x}}$  )은 각각

$P_z e^{j\psi_{P_z}} \cos \phi_m + P_x e^{j\psi_{P_x}} \sin \phi_m$ ,  $M_y e^{j\psi_{M_y}}$  으로 되며, 이를 [수학식 1]에 대입하여 정리하면 정규화된 전력(  $|\bar{a}_{05}|^2$  )은 다음 [수학식 24]와 같이 된다.

$$\begin{aligned} & \text{수학식 24} \\ & k_0^2 M_y^2 + P_z^2 \cos^2 \phi_m + P_x^2 \sin^2 \phi_m + 2P_z P_x C_{\psi_{P_z} P_x} \cos \phi_m \sin \phi_m \\ & - 2k_0 [P_z M_y S_{\psi_{P_z} M_y} \cos \phi_m + P_x M_y S_{\psi_{P_x} M_y} \sin \phi_m] \end{aligned}$$

이 식의  $\phi_n$  에 각각  $\pi/4, 3\pi/4$ 를 대입하여  $P_{21}$  및  $P_{22}$  를 구하면 [수학식 25]의 (a) 및 (b)와 같이 된다.

수학식 25

$$(a) \quad P_{21} = |\tilde{a}_{05}|_{\phi_n=\pi/4}^2 = k_0^2 M_y^2 + \frac{1}{2}[P_z^2 + P_x^2 + 2P_z P_x C_{mz'x'}] - \sqrt{2}k_0[P_z M_y S_{z'y'} + P_x M_y S_{x'y'}] \\ = k_0^2 E + \frac{1}{2}[C + A + 2I] - \sqrt{2}k_0[Q + M]$$

$$(b) \quad P_{22} = |\tilde{a}_{05}|_{\phi_n=3\pi/4}^2 = k_0^2 M_y^2 + \frac{1}{2}[P_z^2 + P_x^2 - 2P_z P_x C_{mz'x'}] - \sqrt{2}k_0[-P_z M_y S_{z'y'} + P_x M_y S_{x'y'}] \\ = k_0^2 E + \frac{1}{2}[C + A - 2I] - \sqrt{2}k_0[-Q + M]$$

2.3 (xz', yx', zy')의 경우 (m이 6인 경우)

다음에 피시험기기의 좌표축을 z축을 중심으로 시계 방향으로 90° 회전하고 다시 x축을 중심으로 시계 방향으로 90° 만큼 회전하여 맞춘 상태[(xz', yx', zy')]에서(S261) 2.1의 경우와 마찬가지로 GTEM 셀의 x축을 중심으로  $\pi/4, 3\pi/4$ 만큼 회전하면서 전력을 측정한다(S262)(도 7의 배치 23 내지 배치 24). 이때 측정된 전력을 각각  $P_{23}$  및  $P_{24}$ 로 나타낸다.

(xz', yx', zy')의 상태에서 x축을 중심으로 시계 방향으로  $\phi_n$  만큼 회전했을 때의 좌표 변환식은 다음 [수학식 26]과 같이 되고,

수학식 26

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C\phi_n & S\phi_n \\ 0 & -S\phi_n & C\phi_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z' \\ x' \\ y' \end{bmatrix}$$

이때 [수학식 1]의 다이폴 성분( $P_y e^{j\phi_n}, M_x e^{j\phi_n}$ )은 각각

$P_x e^{j\phi_n} \cos\phi_m + P_y e^{j\phi_n} \sin\phi_m, M_z e^{j\phi_n}$  으로 되며, 이를 [수학식 1]에 대입하여 정리하면 정규화된 전력( $|\tilde{a}_{06}|^2$ )은 다음 [수학식 27]과 같이 된다.

수학식 27

$$k_0^2 M_z^2 + P_x^2 \cos^2 \phi_m + P_y^2 \sin^2 \phi_m + 2P_x P_y C_{mz'y'} \cos \phi_m \sin \phi_m \\ - 2k_0[P_x M_z S_{z'z'} \cos \phi_m + P_y M_z S_{y'z'} \sin \phi_m]$$

이 식의  $\phi_n$  에 각각  $\pi/4, 3\pi/4$ 를 대입하여  $P_{23}$  및  $P_{24}$  를 구하면 [수학식 28]의 (a) 및 (b)와 같이 된다.

수학식 28

$$(a) \quad P_{23} = |\tilde{a}_{06}|_{\phi_n=\pi/4}^2 = k_0^2 M_z^2 + \frac{1}{2}[P_x^2 + P_y^2 + 2P_x P_y C_{mz'y'}] - \sqrt{2}k_0[P_x M_z S_{x'z'} + P_y M_z S_{y'z'}] \\ = k_0^2 F + \frac{1}{2}[A + V + 2G] - \sqrt{2}k_0[R + N]$$



$$(b) \quad P_{24} = |\tilde{a}_{06}|_{\phi_n=3\pi/4}^2 = k_0^2 M_z^2 + \frac{1}{2} [P_x^2 + P_y^2 - 2P_x P_y C_{mx,y}] - \sqrt{2} k_0 [-P_x M_z S_{z,x} + P_y M_z S_{z,y}]$$

$$= k_0^2 F + \frac{1}{2} [A + B - 2G] - \sqrt{2} k_0 [-R + N]$$

위의 [수학식 22], [수학식 25] 및 [수학식 28]을 이용하여 계수 H, I 및 G를 다음 [수학식 29]의 (a) 내지 (c)와 같이 얻을 수 있다.

$$\text{수학식 29}$$

$$(a) \quad II = \frac{|\tilde{a}_{04}|_{\phi_n=\pi/4}^2 - |\tilde{a}_{04}|_{\phi_n=3\pi/4}^2 + 2\sqrt{2}k_0 P}{2} = \frac{P_{19} - P_{20} + 2\sqrt{2}k_0 P}{2}$$

$$(b) \quad I = \frac{|\tilde{a}_{05}|_{\phi_n=\pi/4}^2 - |\tilde{a}_{05}|_{\phi_n=3\pi/4}^2 + 2\sqrt{2}k_0 Q}{2} = \frac{P_{21} - P_{22} + 2\sqrt{2}k_0 Q}{2}$$

$$(c) \quad G = \frac{|\tilde{a}_{06}|_{\phi_n=\pi/4}^2 - |\tilde{a}_{06}|_{\phi_n=3\pi/4}^2 - 2\sqrt{2}k_0 R}{2} = \frac{P_{23} - P_{24} - 2\sqrt{2}k_0 R}{2}$$

[수학식 11]의 (d) 및 (e), [수학식 15]의 (d) 및 (e), [수학식 19]의 (d) 및 (e)를 이용하여  $A + k_0^2 D$ ,  $B + k_0^2 E$  및  $C + k_0^2 F$ 를 구할 수 있다. 즉, 6개의 식을 모두 더하고 2로 나누어 정리하면 [수학식 30]과 같이 된다.

$$\text{수학식 30}$$

$$A + B + C + k_0^2 (D + E + F)$$

$$= \frac{1}{4} \left[ \begin{aligned} &|\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=0}^2 + |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=\pi}^2 + |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=\pi/2}^2 + |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=-\pi/2}^2 \\ &+ |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=0}^2 + |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=\pi}^2 + |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=\pi/2}^2 + |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=-\pi/2}^2 \\ &+ |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=0}^2 + |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=\pi}^2 + |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=\pi/2}^2 + |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=-\pi/2}^2 \end{aligned} \right] = \frac{1}{4} \left[ \begin{aligned} &P_1 + P_4 + P_3 + P_5 \\ &+ P_7 + P_{10} + P_9 + P_{11} \\ &+ P_{13} + P_{16} + P_{15} + P_{17} \end{aligned} \right]$$

[수학식 30]에서  $B + k_0^2 F$  및  $C + k_0^2 E$ 를 빼면 [수학식 31]과 같이 되어  $A + k_0^2 D$ 를 구할 수 있다.

$$\text{수학식 31}$$

$$A + k_0^2 D = \frac{1}{4} \left[ \begin{aligned} &|\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=0}^2 + |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=\pi}^2 - |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=\pi/2}^2 - |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=-\pi/2}^2 \\ &- |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=0}^2 - |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=\pi}^2 + |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=\pi/2}^2 + |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=-\pi/2}^2 \\ &+ |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=0}^2 + |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=\pi}^2 + |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=\pi/2}^2 + |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=-\pi/2}^2 \end{aligned} \right] = \frac{1}{4} \left[ \begin{aligned} &P_1 + P_4 - P_3 - P_5 \\ &- P_7 - P_{10} + P_9 + P_{11} \\ &+ P_{13} + P_{16} + P_{15} + P_{17} \end{aligned} \right]$$

또한, [수학식 30]에서  $A + k_0^2 F$  및  $C + k_0^2 D$ 를 빼면 [수학식 32]와 같이 되어  $B + k_0^2 E$ 를 구할 수 있고,  $A + k_0^2 E$  및  $B + k_0^2 D$ 를 빼면 [수학식 33]과 같이 되어  $C + k_0^2 F$ 를 구할 수 있다.

수학식 32

$$B + k_0^2 E = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=0}^2 + |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=\pi}^2 + |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=\pi/2}^2 + |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=-\pi/2}^2 \\ + |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=0}^2 + |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=\pi}^2 - |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=\pi/2}^2 - |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=-\pi/2}^2 \\ - |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=0}^2 - |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=\pi}^2 + |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=\pi/2}^2 + |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=-\pi/2}^2 \end{bmatrix} = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} P_1 + P_4 + P_3 + P_5 \\ + P_7 + P_{10} - P_9 - P_{11} \\ - P_{13} - P_{16} + P_{15} + P_{17} \end{bmatrix}$$

수학식 33

$$C + k_0^2 F = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} -|\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=0}^2 - |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=\pi}^2 + |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=\pi/2}^2 + |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=-\pi/2}^2 \\ + |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=0}^2 + |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=\pi}^2 + |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=\pi/2}^2 + |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=-\pi/2}^2 \\ + |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=0}^2 + |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=\pi}^2 - |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=\pi/2}^2 - |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=-\pi/2}^2 \end{bmatrix} = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} -P_1 - P_4 + P_3 + P_5 \\ + P_7 + P_{10} + P_9 + P_{11} \\ + P_{13} + P_{16} - P_{15} - P_{17} \end{bmatrix}$$

다음에 24가지 배치에서 GTEM 셀의 출력단에서 측정된 전력을 [수학식 11]의 (a) 내지 (c), [수학식 15]의 (a) 내지 (c), [수학식 19]의 (a) 내지 (c), [수학식 29]의 (a) 내지 (c), [수학식 31], [수학식 32] 및 [수학식 33]의  $P_{1 \sim 17}$ 에 대입하여 원하는 계수(A~R)를 구한다(S271).

자유 공간에서의 총 복사 전력과 복사 패턴 공식을 다음 [수학식 34] 및 [수학식 35]와 같이 위에서 얻어진 계수(A~R)를 이용하여 표현할 수 있다. 단계 S271에서 구한 계수(A~R)의 값을 [수학식 34] 및 [수학식 35]에 대입하여 자유 공간에서 임의의 원하는 거리 r에서의 복사 특성을 구한다(S272).

수학식 34

$$\begin{aligned} P_T &= \frac{40\pi^2}{\lambda^2} (P_x^2 + P_y^2 + P_z^2 + k^2(M_x^2 + M_y^2 + M_z^2)) \\ &= \frac{40\pi^2}{\lambda^2} [(P_x^2 + k^2 M_x^2) + (P_y^2 k^2 + M_y^2) + (P_z^2 k^2 + M_z^2)] \\ &= \frac{40\pi^2}{\lambda^2} [(A + k^2 D) + (B + k^2 E) + (C + k^2 F)] \end{aligned}$$

수학식 35

$$P(\theta, \phi) = \frac{15\pi}{r^2 \lambda^2} \begin{bmatrix} (A + k_0 D)(\cos^2 \theta \cos^2 \phi + \sin^2 \phi) + (B + k_0 E)(\cos^2 \theta \sin^2 \phi + \cos^2 \phi) \\ + (C + k_0 F) \sin^2 \theta \\ - 2\{G + k_0^2 J\} \sin^2 \theta \sin \phi \cos \phi - 2\{H + k_0^2 K\} \sin \theta \cos \theta \sin \phi \\ - 2\{I + k_0^2 L\} \sin \theta \cos \theta \sin \phi \\ + 2k_0 \{M - P\} \cos \theta + 2k_0 \{N - Q\} \sin \theta \cos \phi \\ + 2k_0 \{O - R\} \sin \theta \sin \phi \end{bmatrix}$$

다음에, 주파수(f)를 일정량( $\Delta f$ )만큼 증가시키고 다시 위의 측정(단계 S211에서 단계 S272)을 반복한다(S273). 주파수가 주파수 대역의 최대 주파수( $f_{\max}$ )로 될 때까지(S274) 위의 측정(단계 S211에서 단계 S272)을 반복하면 원하는 주파수 대역의 복사 패턴을 구할 수 있다.

또한, 총 복사 전력만을 측정하기 위해서는 [수학식 31], [수학식 32] 및 [수학식 33]에서 알 수 있는 것처럼  $P_1 \sim P_{17}$ 만을 구하면 된다. 즉, 12가지 배치인 도 5의 제

1. 제3 내지 제5, 제7, 제9 내지 제11, 제13, 제15 내지 제17 배치에 대해서만 출력단 전력을 측정하면 된다.

#### 발명의 효과

이와 같이, 본 발명에 의하면 비교적 적은 측정 공간과 비용으로 자유 공간 또는 전자파 무반사실에서의 측정 결과를 얻을 수 있으며 기존의 방법이 갖는 오차를 상당 부분 줄일 수 있는 장점이 있다.

#### 검구의 범위

##### 청구항 1.

GTEM 셀에서 피시험기기를 다이폴 모멘트로 모델링한 후 자유 공간에서의 전자파 복사 패턴을 측정하는 방법에서,

특정 주파수 대역에서 상기 GTEM 셀의 좌표축과 상기 피시험기기의 좌표축의 24가지 배치를 이용하여 상기 GTEM 셀의 출력단 전력을 측정하는 제1 단계; 및

상기 측정한 출력단 전력을 이용하여 다이폴 모멘트로 모델링된 상기 피시험기기에 대한 자유 공간에서의 상기 복사 패턴 또는 상기 총 복사 전력을 예측하는 제2 단계

를 포함하는 자유 공간에서의 전자파 복사 패턴 측정 방법.

##### 청구항 2.

제1 항에서,

상기 제1 단계는

상기 GTEM 셀의 좌표축을  $(x, y, z)$ , 상기 피시험기기에 대한 좌표축을  $(x', y', z')$ 로 둘 때,

상기 GTEM 셀의 좌표축 $[(x, y, z)]$ 과 상기 피시험기기에 대한 좌표축 $[(x', y', z')]$ 을  $(xx', yy', zz')$ 으로 맞춘 후  $y$ 축을 중심으로 회전하면서 6가지 방위에서 출력 전력을 측정하는 단계;

상기 GTEM 셀의 좌표축 $[(x, y, z)]$ 과 상기 피시험기기에 대한 좌표축 $[(x', y', z')]$ 을  $(xy', yz', zx')$ 으로 맞춘 후  $y$ 축을 중심으로 회전하면서 6가지 방위에서 출력 전력을 측정하는 단계;

상기 GTEM 셀의 좌표축 $[(x, y, z)]$ 과 상기 피시험기기에 대한 좌표축 $[(x', y', z')]$ 을  $(xz', yx', zy')$ 으로 맞춘 후  $y$ 축을 중심으로 회전하면서 6가지 방위에서 출력 전력을 측정하는 단계;

상기 GTEM 셀의 좌표축 $[(x, y, z)]$ 과 상기 피시험기기에 대한 좌표축 $[(x', y', z')]$ 을  $(xx', yy', zz')$ 으로 맞춘 후  $x$ 축을 중심으로 회전하면서 2가지 방위에서 출력 전력을 측정하는 단계;

상기 GTEM 셀의 좌표축 $[(x, y, z)]$ 과 상기 피시험기기에 대한 좌표축 $[(x', y', z')]$ 을  $(xy', yz', zx')$ 으로 맞춘 후  $x$ 축을 중심으로 회전하면서 2가지 방위에서 출력 전력을 측정하는 단계; 및

상기 GTEM 셀의 좌표축 $[(x, y, z)]$ 과 상기 피시험기기에 대한 좌표축 $[(x', y', z')]$ 을  $(xz', yx', zy')$ 으로 맞춘 후  $x$ 축을 중심으로 회전하면서 2가지 방위에서 출력 전력을 측정하는 단계

를 포함하는 자유 공간에서의 전자파 복사 패턴 측정 방법.

##### 청구항 3.

제1 항에서,

상기 제1 단계는

상기 GTEM 셀의 좌표축을  $(x, y, z)$ , 상기 피시험기기에 대한 좌표축을  $(x', y', z')$ 로 둘 때,

상기 GTEM 셀의 좌표축 $[(x, y, z)]$ 을 상기 피시험기기에 대한 좌표축 $[(x', y', z')]$ 에 각각 일치시킨 배치 $(xx', yy', zz'$

인 제1 배치:

상기 제1 배치에서 상기 피시험기기를 y축을 중심으로 반시계 방향으로 45° 회전한 배치인 제2 배치:

상기 제2 배치에서 상기 피시험기기를 y축을 중심으로 반시계 방향으로 45° 회전한 배치인 제3 배치:

상기 제3 배치에서 상기 피시험기기를 y축을 중심으로 반시계 방향으로 90° 회전한 배치인 제4 배치:

상기 제4 배치에서 상기 피시험기기를 y축을 중심으로 반시계 방향으로 90° 회전한 배치인 제5 배치:

상기 제5 배치에서 상기 피시험기기를 y축을 중심으로 반시계 방향으로 45° 회전한 배치인 제6 배치:

상기 GTEM 셀의 좌표축[(x, y, z)]을 상기 피시험기기에 대한 좌표축(y', z', x')에 각각 일치시킨 배치(xy', yz', zx')인 제7 배치:

상기 제7 배치에서 상기 피시험기기를 y축을 중심으로 반시계 방향으로 45° 회전한 배치인 제8 배치:

상기 제8 배치에서 상기 피시험기기를 y축을 중심으로 반시계 방향으로 45° 회전한 배치인 제9 배치:

상기 제9 배치에서 상기 피시험기기를 y축을 중심으로 반시계 방향으로 90° 회전한 배치인 제10 배치:

상기 제10 배치에서 상기 피시험기기를 y축을 중심으로 반시계 방향으로 90° 회전한 배치인 제11 배치:

상기 제11 배치에서 상기 피시험기기를 y축을 중심으로 반시계 방향으로 45° 회전한 배치인 제12 배치:

상기 GTEM 셀의 좌표축[(x, y, z)]을 상기 피시험기기에 대한 좌표축(z', x', y')에 각각 일치시킨 배치(xz', yx', zy')인 제13 배치:

상기 제13 배치에서 상기 피시험기기를 y축을 중심으로 반시계 방향으로 45° 회전한 배치인 제14 배치:

상기 제14 배치에서 상기 피시험기기를 y축을 중심으로 반시계 방향으로 45° 회전한 배치인 제15 배치:

상기 제15 배치에서 상기 피시험기기를 y축을 중심으로 반시계 방향으로 90° 회전한 배치인 제16 배치:

상기 제16 배치에서 상기 피시험기기를 y축을 중심으로 반시계 방향으로 90° 회전한 배치인 제17 배치:

상기 제17 배치에서 상기 피시험기기를 y축을 중심으로 반시계 방향으로 45° 회전한 배치인 제18 배치:

상기 (xx', yy', zz') 배치에서 상기 피시험기기를 x축을 중심으로 시계 방향으로 45° 회전한 배치인 제19 배치:

상기 제19 배치에서 상기 피시험기기를 x축을 중심으로 시계 방향으로 90° 회전한 배치인 제20 배치:

상기 (xy', yz', zx') 배치에서 상기 피시험기기를 x축을 중심으로 시계 방향으로 45° 회전한 배치인 제21 배치:

상기 제21 배치에서 상기 피시험기기를 x축을 중심으로 시계 방향으로 90° 회전한 배치인 제22 배치:

상기 (xz', yx', zy') 배치에서 상기 피시험기기를 x축을 중심으로 시계 방향으로 45° 회전한 배치인 제23 배치: 및

상기 제23 배치에서 상기 피시험기기를 x축을 중심으로 시계 방향으로 90° 회전한 배치인 제24 배치에서 상기 GTEM 셀의 출력단 전력을 측정하는 단계

를 포함하는 자유 공간에서의 전자파 복사 패턴 측정 방법.

#### 청구항 4.

제3 항에서,

상기 제2 단계는

$A+k_0^{-2}D$ ,  $B+k_0^{-2}E$  및  $C+k_0^{-2}F$ 에 대한 식인

$$(a) \quad A+k_0^2D=P_x^2+k_0^2M_x^2 \\ =\frac{1}{4}\left[\begin{array}{l} |\tilde{a}_{01}|_{\phi_s=0}^2+|\tilde{a}_{01}|_{\phi_s=\pi}^2-|\tilde{a}_{01}|_{\phi_s=\pi/2}^2-|\tilde{a}_{01}|_{\phi_s=-\pi/2}^2 \\ -|\tilde{a}_{02}|_{\phi_s=0}^2-|\tilde{a}_{02}|_{\phi_s=\pi}^2+|\tilde{a}_{02}|_{\phi_s=\pi/2}^2+|\tilde{a}_{02}|_{\phi_s=-\pi/2}^2 \\ +|\tilde{a}_{03}|_{\phi_s=0}^2+|\tilde{a}_{03}|_{\phi_s=\pi}^2+|\tilde{a}_{03}|_{\phi_s=\pi/2}^2+|\tilde{a}_{03}|_{\phi_s=-\pi/2}^2 \end{array}\right]=\frac{1}{4}\left[\begin{array}{l} P_1+P_4-P_3-P_5 \\ -P_7-P_{10}+P_9+P_{11} \\ +P_{13}+P_{16}+P_{15}+P_{17} \end{array}\right]$$

$$(b) \quad B+k_0^2E=P_y^2+k_0^2M_y^2 \\ =\frac{1}{4}\left[\begin{array}{l} |\tilde{a}_{01}|_{\phi_s=0}^2+|\tilde{a}_{01}|_{\phi_s=\pi}^2+|\tilde{a}_{01}|_{\phi_s=\pi/2}^2+|\tilde{a}_{01}|_{\phi_s=-\pi/2}^2 \\ +|\tilde{a}_{02}|_{\phi_s=0}^2+|\tilde{a}_{02}|_{\phi_s=\pi}^2-|\tilde{a}_{02}|_{\phi_s=\pi/2}^2-|\tilde{a}_{02}|_{\phi_s=-\pi/2}^2 \\ -|\tilde{a}_{03}|_{\phi_s=0}^2-|\tilde{a}_{03}|_{\phi_s=\pi}^2+|\tilde{a}_{03}|_{\phi_s=\pi/2}^2+|\tilde{a}_{03}|_{\phi_s=-\pi/2}^2 \end{array}\right]=\frac{1}{4}\left[\begin{array}{l} P_1+P_4+P_3+P_5 \\ +P_7+P_{10}-P_9-P_{11} \\ -P_{13}-P_{16}+P_{15}+P_{17} \end{array}\right]$$

$$(c) \quad C+k_0^2F=P_z^2+k_0^2M_z^2 \\ =\frac{1}{4}\left[\begin{array}{l} -|\tilde{a}_{01}|_{\phi_s=0}^2-|\tilde{a}_{01}|_{\phi_s=\pi}^2+|\tilde{a}_{01}|_{\phi_s=\pi/2}^2+|\tilde{a}_{01}|_{\phi_s=-\pi/2}^2 \\ +|\tilde{a}_{02}|_{\phi_s=0}^2+|\tilde{a}_{02}|_{\phi_s=\pi}^2+|\tilde{a}_{02}|_{\phi_s=\pi/2}^2+|\tilde{a}_{02}|_{\phi_s=-\pi/2}^2 \\ +|\tilde{a}_{03}|_{\phi_s=0}^2+|\tilde{a}_{03}|_{\phi_s=\pi}^2-|\tilde{a}_{03}|_{\phi_s=\pi/2}^2-|\tilde{a}_{03}|_{\phi_s=-\pi/2}^2 \end{array}\right]=\frac{1}{4}\left[\begin{array}{l} -P_1-P_4+P_3+P_5 \\ +P_7+P_{10}+P_9+P_{11} \\ +P_{13}+P_{16}-P_{15}-P_{17} \end{array}\right]$$

와 각각 상기 제1 배치 내지 상기 제18 배치에서 측정된 전력인  $P_1$  내지  $P_{18}$ 을 이용하여 상기  $A+k_0^{-2}D$ ,  $B+k_0^{-2}E$  및  $C+k_0^{-2}F$ 를 계산하는 단계; 및

상기 계산한  $A+k_0^{-2}D$ ,  $B+k_0^{-2}E$  및  $C+k_0^{-2}F$ 를 상기 다이폴 모멘트로 모델링된 피시험기기에 대한 상기 총 복사 전력( $P_T$ )에 대한 식인

$$P_T=\frac{40\pi^2}{\lambda^2}\left[\left(P_x^2+k_0^2M_x^2\right)+\left(P_y^2+k_0^2M_y^2\right)+\left(P_z^2+k_0^2M_z^2\right)\right] \\ =\frac{40\pi^2}{\lambda^2}\left[\left(A+k_0^2D\right)+\left(B+k_0^2E\right)+\left(C+k_0^2F\right)\right]$$

(여기서,  $P_T$ 는 총 복사 전력이고,  $P_x$ ,  $P_y$  및  $P_z$ 는 전기 다이폴 모멘트( $\vec{P}$ )의 세 직교 성분의 크기이며,  $M_x$ ,  $M_y$  및  $M_z$ 는 자기 다이폴 모멘트( $\vec{M}$ )의 세 직교 성분의 크기이고,  $\lambda$ 는 측정하는 주파수에서의 파장이며  $k_0$ 는 자유 공간 전파 상수)

에 대입하여 자유 공간에서의 상기 총 복사 전력을 예측하는 단계

를 포함하는 자유 공간에서의 전자파 복사 패턴 측정 방법.

## 청구항 5.

제3항에서,

상기 제2 단계는

$A+k_0^{-2}D$ ,  $B+k_0^{-2}E$ ,  $C+k_0^{-2}F$ ,  $G$  내지  $R$ 에 대한 식인

$$\begin{aligned}
 (a) \quad A + k_0^2 D &= P_x^2 + k_0^2 M_x^2 \\
 &= \frac{1}{4} \left[ \begin{aligned} &|\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=0}^2 + |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=\pi}^2 - |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=\pi/2}^2 - |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=-\pi/2}^2 \\ &- |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=0}^2 - |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=\pi}^2 + |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=\pi/2}^2 + |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=-\pi/2}^2 \\ &+ |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=0}^2 + |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=\pi}^2 + |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=\pi/2}^2 + |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=-\pi/2}^2 \end{aligned} \right] = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} P_1 + P_4 - P_3 - P_5 \\ -P_7 - P_{10} + P_9 + P_{11} \\ + P_{13} + P_{16} + P_{15} + P_{17} \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (b) \quad B + k_0^2 E &= P_y^2 + k_0^2 M_y^2 \\
 &= \frac{1}{4} \left[ \begin{aligned} &|\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=0}^2 + |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=\pi}^2 + |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=\pi/2}^2 + |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=-\pi/2}^2 \\ &+ |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=0}^2 + |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=\pi}^2 - |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=\pi/2}^2 - |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=-\pi/2}^2 \\ &- |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=0}^2 - |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=\pi}^2 + |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=\pi/2}^2 + |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=-\pi/2}^2 \end{aligned} \right] = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} P_1 + P_4 + P_3 + P_5 \\ + P_7 + P_{10} - P_9 - P_{11} \\ - P_{13} - P_{16} + P_{15} + P_{17} \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (c) \quad C + k_0^2 F &= P_z^2 + k_0^2 M_z^2 \\
 &= \frac{1}{4} \left[ \begin{aligned} &-|\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=0}^2 - |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=\pi}^2 + |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=\pi/2}^2 + |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=-\pi/2}^2 \\ &+ |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=0}^2 + |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=\pi}^2 + |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=\pi/2}^2 + |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=-\pi/2}^2 \\ &+ |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=0}^2 + |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=\pi}^2 - |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=\pi/2}^2 - |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=-\pi/2}^2 \end{aligned} \right] = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} -P_1 - P_4 + P_3 + P_5 \\ + P_7 + P_{10} + P_9 + P_{11} \\ + P_{13} + P_{16} - P_{15} - P_{17} \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$(d) \quad G = P_x P_y \cos(\psi_{px} - \psi_{py}) = \frac{|\tilde{a}_{06}|_{\phi_n=\pi/4}^2 - |\tilde{a}_{06}|_{\phi_n=3\pi/4}^2 - 2\sqrt{2}k_0 R}{2} = \frac{P_{23} - P_{24} - 2\sqrt{2}k_0 R}{2}$$

$$(e) \quad H = P_y P_z \cos(\psi_{py} - \psi_{pz}) = \frac{|\tilde{a}_{04}|_{\phi_n=\pi/4}^2 - |\tilde{a}_{04}|_{\phi_n=3\pi/4}^2 + 2\sqrt{2}k_0 P}{2} = \frac{P_{19} - P_{20} + 2\sqrt{2}k_0 P}{2}$$

$$(f) \quad I = P_z P_x \cos(\psi_{pz} - \psi_{px}) = \frac{|\tilde{a}_{05}|_{\phi_n=\pi/4}^2 - |\tilde{a}_{05}|_{\phi_n=3\pi/4}^2 + 2\sqrt{2}k_0 Q}{2} = \frac{P_{21} - P_{22} + 2\sqrt{2}k_0 Q}{2}$$

$$(g) \quad J = M_x M_y \cos(\psi_{mx} - \psi_{my}) = \frac{|\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=\pi/4}^2 - |\tilde{a}_{02}|_{\phi_n=-\pi/4}^2 + 2\sqrt{2}k_0 O}{2k_0^2} = \frac{P_8 - P_{12} + 2\sqrt{2}k_0 O}{2k_0^2}$$

$$(h) \quad K = M_y M_z \cos(\psi_{my} - \psi_{mz}) = \frac{|\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=\pi/4}^2 - |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=-\pi/4}^2 + 2\sqrt{2}k_0 M}{2k_0^2} = \frac{P_{14} - P_{18} + 2\sqrt{2}k_0 M}{2k_0^2}$$

$$(i) \quad L = M_z M_x \cos(\psi_{mz} - \psi_{mx}) = \frac{|\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=\pi/4}^2 - |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=-\pi/4}^2 + 2\sqrt{2}k_0 N}{2k_0^2} = \frac{P_2 - P_6 + 2\sqrt{2}k_0 N}{2k_0^2}$$

$$(j) \quad M = P_x M_y \sin(\psi_{px} - \psi_{my}) = \frac{|\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=\pi/2}^2 - |\tilde{a}_{03}|_{\phi_n=-\pi/2}^2}{4k_0} = \frac{P_{17} - P_{15}}{4k_0}$$

$$(k) \quad N = P_y M_z \sin(\psi_{py} - \psi_{mz}) = \frac{|\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=\pi/2}^2 - |\tilde{a}_{01}|_{\phi_n=-\pi/2}^2}{4k_0} = \frac{P_5 - P_3}{4k_0}$$

$$(i) O = P_z M_x \sin(\psi_{pz} - \psi_{mx}) = \frac{|\tilde{a}_{02}|_{\phi_s = \pi/2}^2 - |\tilde{a}_{02}|_{\phi_s = \pi/2}^2}{4k_0} = \frac{P_{11} - P_9}{4k_0}$$

$$(ii) P = P_y M_x \sin(\psi_{py} - \psi_{mx}) = \frac{|\tilde{a}_{01}|_{\phi_s = \pi}^2 - |\tilde{a}_{01}|_{\phi_s = 0}^2}{4k_0} = \frac{P_4 - P_1}{4k_0}$$

$$(iii) Q = P_z M_y \sin(\psi_{pz} - \psi_{my}) = \frac{|\tilde{a}_{02}|_{\phi_s = \pi}^2 - |\tilde{a}_{02}|_{\phi_s = 0}^2}{4k_0} = \frac{P_{10} - P_7}{4k_0}$$

$$(iv) R = P_x M_z \sin(\psi_{px} - \psi_{mz}) = \frac{|\tilde{a}_{03}|_{\phi_s = \pi}^2 - |\tilde{a}_{03}|_{\phi_s = 0}^2}{4k_0} = \frac{P_{16} - P_{13}}{4k_0}$$

와 각각 상기 제1 배치 내지 상기 제24 배치에서 측정된 전력인  $P_1$  내지  $P_{24}$ 를 이용하여 상기  $A + k_0^2 D$ ,  $B + k_0^2 E$ ,  $C + k_0^2 F$ ,  $G$  내지  $R$ 을 계산하는 단계; 및

상기 계산한  $A + k_0^2 D$ ,  $B + k_0^2 E$ ,  $C + k_0^2 F$ ,  $G$  내지  $R$ 을 상기 다이폴 모멘트로 모델링된 피시험기기에 대한 상기 복사 패턴  $[P(\theta, \phi)]$ 에 대한 식인

$$P(\theta, \phi) = \frac{15\pi}{r^2 \lambda^2} \left[ \begin{aligned} & (A + k_0^2 D)(\cos^2 \theta \cos^2 \phi + \sin^2 \phi) + (B + k_0^2 E)(\cos^2 \theta \sin^2 \phi + \cos^2 \phi) \\ & + (C + k_0^2 F) \sin^2 \theta \\ & - 2\{G + k_0^2 J\} \sin^2 \theta \sin \phi \cos \phi - 2\{H + k_0^2 K\} \sin \theta \cos \theta \sin \phi \\ & - 2\{I + k_0^2 L\} \sin \theta \cos \theta \sin \phi \\ & + 2k_0 \{M - P\} \cos \theta + 2k_0 \{N - Q\} \sin \theta \cos \phi \\ & + 2k_0 \{O - R\} \sin \theta \sin \phi \end{aligned} \right]$$

(여기서,  $P(\theta, \phi)$ 는 복사 패턴이고  $P_{x'}$ ,  $P_{y'}$  및  $P_{z'}$ 는 전기 다이폴 모멘트( $\vec{P}$ )의 세 직교 성분의 크기이며  $\psi_{px'}$ ,  $\psi_{py'}$  및  $\psi_{pz'}$ 은 각 성분의 위상이고,  $M_{x'}$ ,  $M_{y'}$  및  $M_{z'}$ 는 자기 다이폴 모멘트( $\vec{M}$ )의 세 직교 성분의 크기이며  $\psi_{mx'}$ ,  $\psi_{my'}$  및  $\psi_{mz'}$ 은 각 성분의 위상이고,  $\theta$ 와  $\phi$ 는 구좌표계의 좌표이고,  $k_0$ 는 자유 공간 전파 상수)

에 대입하여 자유 공간에서의 복사 패턴을 예측하는 단계

를 포함하는 자유 공간에서의 전자파 복사 패턴 측정 방법.

## 청구항 6.

GTEM 셀에서 피시험기기를 다이폴 모멘트로 모델링한 후 자유 공간에서의 총 복사 전력을 측정하는 방법에서,

측정 주파수 대역에서 상기 GTEM 셀의 좌표축과 상기 피시험기기의 좌표축의 12가지 배치를 이용하여 상기 GTEM 셀의 출력단 전력을 측정하는 제1 단계; 및

상기 측정된 출력단 전력을 이용하여 다이폴 모멘트로 모델링된 피시험기기에 대한 상기 총 복사 전력을 예측하는 제2 단계

를 포함하는 자유 공간에서의 전자파 총 복사 전력 측정 방법.

## 청구항 7.

제6 항에서,

상기 제1 단계는

상기 GTEM 셀의 좌표축을 (x, y, z), 상기 피시험기기에 대한 좌표축을 (x', y', z')로 둘 때,

상기 GTEM 셀의 좌표축[(x, y, z)]을 상기 피시험기기에 대한 좌표축[(x, y, z)]에 각각 일치시킨 배치(xx', yy', zz')인 제1 배치:

상기 제1 배치에서 상기 피시험기기를 y축을 중심으로 반시계 방향으로 90° 회전한 배치인 제2 배치:

상기 제2 배치에서 상기 피시험기기를 y축을 중심으로 반시계 방향으로 90° 회전한 배치인 제3 배치:

상기 제3 배치에서 상기 피시험기기를 y축을 중심으로 반시계 방향으로 90° 회전한 배치인 제4 배치:

상기 GTEM 셀의 좌표축[(x, y, z)]을 상기 피시험기기에 대한 좌표축(y', z', x')에 각각 일치시킨 배치(xy', yz', zx')인 제5 배치:

상기 제5 배치에서 상기 피시험기기를 y축을 중심으로 반시계 방향으로 90° 회전한 배치인 제6 배치:

상기 제6 배치에서 상기 피시험기기를 y축을 중심으로 반시계 방향으로 90° 회전한 배치인 제7 배치:

상기 제7 배치에서 상기 피시험기기를 y축을 중심으로 반시계 방향으로 90° 회전한 배치인 제8 배치:

상기 GTEM 셀의 좌표축[(x, y, z)]을 상기 피시험기기에 대한 좌표축(z', x', y')에 각각 일치시킨 배치(xz', yx', zy')인 제9 배치:

상기 제9 배치에서 상기 피시험기기를 y축을 중심으로 반시계 방향으로 90° 회전한 배치인 제10 배치:

상기 제10 배치에서 상기 피시험기기를 y축을 중심으로 반시계 방향으로 90° 회전한 배치인 제11 배치: 및

상기 제11 배치에서 상기 피시험기기를 y축을 중심으로 반시계 방향으로 90° 회전한 배치인 제12 배치에서 상기 GTEM 셀의 출력단 전력을 측정하는 단계

를 포함하는 자유 공간에서의 전자파 중 복사 전력 측정 방법.

## 청구항 8.

제7 항에서,

상기 제2 단계는

$A + k_0^{-2} D$ ,  $B + k_0^{-2} E$  및  $C + k_0^{-2} F$ 에 대한 식인

$$A + k_0^2 D = P_x^2 + k_0^2 M_x^2$$

$$= \frac{1}{4} \left[ \begin{aligned} & |\tilde{a}_{01}|_{\phi_s=0}^2 + |\tilde{a}_{01}|_{\phi_s=\pi}^2 - |\tilde{a}_{01}|_{\phi_s=\pi/2}^2 - |\tilde{a}_{01}|_{\phi_s=-\pi/2}^2 \\ & - |\tilde{a}_{02}|_{\phi_s=0}^2 - |\tilde{a}_{02}|_{\phi_s=\pi}^2 + |\tilde{a}_{02}|_{\phi_s=\pi/2}^2 + |\tilde{a}_{02}|_{\phi_s=-\pi/2}^2 \\ & + |\tilde{a}_{03}|_{\phi_s=0}^2 + |\tilde{a}_{03}|_{\phi_s=\pi}^2 + |\tilde{a}_{03}|_{\phi_s=\pi/2}^2 + |\tilde{a}_{03}|_{\phi_s=-\pi/2}^2 \end{aligned} \right] = \frac{1}{4} \left[ \begin{aligned} & P_1 + P_3 - P_2 - P_4 \\ & - P_5 - P_7 + P_6 + P_8 \\ & + P_9 + P_{11} + P_{10} + P_{12} \end{aligned} \right]$$

$$B + k_0^2 E = P_y^2 + k_0^2 M_y^2$$

$$= \frac{1}{4} \left[ \begin{aligned} & |\tilde{a}_{01}|_{\phi_s=0}^2 + |\tilde{a}_{01}|_{\phi_s=\pi}^2 + |\tilde{a}_{01}|_{\phi_s=\pi/2}^2 + |\tilde{a}_{01}|_{\phi_s=-\pi/2}^2 \\ & + |\tilde{a}_{02}|_{\phi_s=0}^2 + |\tilde{a}_{02}|_{\phi_s=\pi}^2 - |\tilde{a}_{02}|_{\phi_s=\pi/2}^2 - |\tilde{a}_{02}|_{\phi_s=-\pi/2}^2 \\ & - |\tilde{a}_{03}|_{\phi_s=0}^2 - |\tilde{a}_{03}|_{\phi_s=\pi}^2 + |\tilde{a}_{03}|_{\phi_s=\pi/2}^2 + |\tilde{a}_{03}|_{\phi_s=-\pi/2}^2 \end{aligned} \right] = \frac{1}{4} \left[ \begin{aligned} & P_1 + P_3 + P_2 + P_4 \\ & + P_5 + P_7 - P_6 - P_8 \\ & - P_9 - P_{10} + P_{11} + P_{12} \end{aligned} \right]$$



$$C + k_0^2 F = P_x^2 + k_0^2 M_x^2$$

$$= \frac{1}{4} \left[ \begin{array}{l} -|\tilde{a}_{01}|_{\phi_s=0}^2 - |\tilde{a}_{01}|_{\phi_s=\pi}^2 + |\tilde{a}_{01}|_{\phi_s=\pi/2}^2 + |\tilde{a}_{01}|_{\phi_s=-\pi/2}^2 \\ + |\tilde{a}_{02}|_{\phi_s=0}^2 + |\tilde{a}_{02}|_{\phi_s=\pi}^2 + |\tilde{a}_{02}|_{\phi_s=\pi/2}^2 + |\tilde{a}_{02}|_{\phi_s=-\pi/2}^2 \\ + |\tilde{a}_{03}|_{\phi_s=0}^2 + |\tilde{a}_{03}|_{\phi_s=\pi}^2 - |\tilde{a}_{03}|_{\phi_s=\pi/2}^2 - |\tilde{a}_{03}|_{\phi_s=-\pi/2}^2 \end{array} \right] = \frac{1}{4} \left[ \begin{array}{l} -P_1 - P_3 + P_2 + P_4 \\ + P_5 + P_7 + P_6 + P_8 \\ + P_9 + P_{11} - P_{10} - P_{12} \end{array} \right]$$

와 각각 상기 제1 배치 내지 상기 제12 배치에서 측정된 전력인  $P_1$  내지  $P_{12}$ 를 이용하여 상기  $A + k_0^2 D$ ,  $B + k_0^2 E$  및  $C + k_0^2 F$ 를 계산하는 단계; 및

상기 계산한  $A + k_0^2 D$ ,  $B + k_0^2 E$  및  $C + k_0^2 F$ 를 상기 다이폴 모멘트로 모델링된 피시험기기에 대한 상기 총 복사 전력( $P_T$ )에 대한 식인

$$P_T = \frac{40\pi^2}{\lambda^2} \left[ (P_x^2 + k_0^2 M_x^2) + (P_y^2 + k_0^2 M_y^2) + (P_z^2 + k_0^2 M_z^2) \right]$$

$$= \frac{40\pi^2}{\lambda^2} \left[ (A + k_0^2 D) + (B + k_0^2 E) + (C + k_0^2 F) \right]$$

(여기서,  $P_T$ 는 총 복사 전력이고,  $P_x$ ,  $P_y$  및  $P_z$ 는 전기 다이폴 모멘트( $\vec{P}$ )의 세 직교 성분의 크기이며,  $M_x$ ,  $M_y$  및  $M_z$ 는 자기 다이폴 모멘트( $\vec{M}$ )의 세 직교 성분의 크기이고,  $\lambda$ 는 측정하는 주파수에서의 파장이며  $k_0$ 는 자유 공간 전파 상수)

에 대입하여 자유 공간에서의 상기 총 복사 전력을 예측하는 단계

를 포함하는 자유 공간에서의 전자파 총 복사 전력 측정 방법.

## 청구항 9.

전기적으로 매우 작아서 등가 다이폴 모멘트로 모델링되며, 적절히 회전되어 24가지 방위(position)로 배치되는 피시험기기;

상기 피시험기기를 내부에 배치한 GTEM 셀;

상기 GTEM 셀의 출력단과 동축케이블로 연결되어 상기 출력단에서 나오는 상기 24가지 방위에서의 전력을 수신하여 전력을 측정하는 전력 수신기; 및

상기 전력 수신기와 GPIB 케이블로 연결되어 있으며 상기 전력 수신기가 측정한 상기 24가지 전력을 이용하여 상기 피시험기기의 자유 공간에서의 전자파 복사 패턴을 예측하는 컴퓨터 시스템

를 포함하는 자유 공간에서의 복사 패턴 측정 시스템.

## 청구항 10.

제9 항에서,

상기 피시험기기는,

상기 GTEM 셀의 좌표축[(x, y, z)]을 상기 피시험기기에 대한 좌표축[(x, y, z)]에 각각 일치시킨 배치(xx', yy', zz')에서 상기 피시험기기를 Y축을 중심으로 반시계 방향으로 각각 0°, 45°, 90°, 180°, 270° 및 315° 회전한 제1 내지 제6 배치;

상기 GTEM 셀의 좌표축[(x, y, z)]을 상기 피시험기기에 대한 좌표축(y', z', x')에 각각 일치시킨 배치(xy', yz', zx')에서 상기 피시험기기를 Y축을 중심으로 반시계 방향으로 각각 0°, 45°, 90°, 180°, 270° 및 315° 회전한 제7 내지 제12 배치;

상기 GTEM 셀의 좌표축[(x, y, z)]을 상기 피시험기기에 대한 좌표축(z', x', y')에 각각 일치시킨 배치(xz', yx', zy')에서 상기 피시험기기를 Y축을 중심으로 반시계 방향으로 각각 0°, 45°, 90°, 180°, 270° 및 315° 회전한 제13 내지 제18 배치;

상기 (xx', yy', zz') 배치에서 상기 피시험기기를 X축을 중심으로 시계 방향으로 각각 45° 및 135° 회전한 제19 및 제20 배치:

상기 (xy', yz', zx') 배치에서 상기 피시험기기를 X축을 중심으로 시계 방향으로 각각 45° 및 135° 회전한 제21 및 제22 배치: 및

상기 (xz', yx', zy') 배치에서 상기 피시험기기를 X축을 중심으로 시계 방향으로 각각 45° 및 135° 회전한 제23 및 제24 배치

로 배치되는 자유 공간에서의 전자파 복사 패턴 측정 시스템.

### 청구항 11.

제10 항에서,

상기 컴퓨터 시스템은

각각 상기 제1 내지 제18 배치에서 측정된 전력인  $P_1$  내지  $P_{18}$  과

$$\begin{aligned} A + k_0^2 D &= \frac{1}{4} \begin{bmatrix} P_1 + P_3 - P_5 - P_7 \\ -P_7 - P_{10} + P_9 + P_{11} \\ +P_{13} + P_{16} + P_{15} + P_{17} \end{bmatrix} \\ B + k_0^2 E &= \frac{1}{4} \begin{bmatrix} P_1 + P_4 + P_3 + P_5 \\ +P_7 + P_{10} - P_9 - P_{11} \\ -P_{13} - P_{16} + P_{15} + P_{17} \end{bmatrix} \\ C + k_0^2 F &= \frac{1}{4} \begin{bmatrix} -P_1 - P_4 + P_3 + P_5 \\ +P_7 + P_{10} + P_9 + P_{11} \\ +P_{13} + P_{16} - P_{15} - P_{17} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

를 이용하여  $A + k_0^2 D$ ,  $B + k_0^2 E$  및  $C + k_0^2 F$ 를 구하고, 이를 다이폴 모멘트로 모델링된 상기 피시험기기에 대한 상기 총 복사 전력( $P_T$ )의 식인

$$\begin{aligned} P_T &= \frac{40\pi^2}{\lambda^2} \left[ (P_x^2 + k_0^2 M_x^2) + (P_y^2 + k_0^2 M_y^2) + (P_z^2 + k_0^2 M_z^2) \right] \\ &= \frac{40\pi^2}{\lambda^2} \left[ (A + k_0^2 D) + (B + k_0^2 E) + (C + k_0^2 F) \right] \end{aligned}$$

(여기서,  $P_T$ 는 총 복사 전력이고,  $P_x$ ,  $P_y$  및  $P_z$ 는 전기 다이폴 모멘트( $\vec{P}$ )의 세 직교 성분의 크기이며,  $M_x$ ,  $M_y$  및  $M_z$ 는 자기 다이폴 모멘트( $\vec{M}$ )의 세 직교 성분의 크기이고,  $\lambda$ 는 측정하는 주파수에서의 파장이며  $k_0$ 는 자유 공간 전파 상수)에 대입하여 자유 공간에서의 상기 총 복사 전력을 예측하는

자유 공간에서의 총 복사 전력 측정 시스템.

### 청구항 12.

제10 항에서,

상기 컴퓨터 시스템은

각각 상기 제1 내지 제24 배치에서 측정된 전력인  $P_1$  내지  $P_{24}$  와

$$\begin{aligned} A + k_0^2 D &= \frac{1}{4} \begin{bmatrix} P_1 + P_3 - P_5 - P_7 \\ -P_7 - P_{10} + P_9 + P_{11} \\ +P_{13} + P_{16} + P_{15} + P_{17} \end{bmatrix} \\ B + k_0^2 E &= \frac{1}{4} \begin{bmatrix} P_1 + P_4 + P_3 + P_5 \\ +P_7 + P_{10} - P_9 - P_{11} \\ -P_{13} - P_{16} + P_{15} + P_{17} \end{bmatrix} \\ C + k_0^2 F &= \frac{1}{4} \begin{bmatrix} -P_1 - P_4 + P_3 + P_5 \\ +P_7 + P_{10} + P_9 + P_{11} \\ +P_{13} + P_{16} - P_{15} - P_{17} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$G = \frac{P_{23} - P_{24} - 2\sqrt{2}k_0 R}{2} \quad H = \frac{P_{19} - P_{20} + 2\sqrt{2}k_0 P}{2} \quad I = \frac{P_{21} - P_{22} + 2\sqrt{2}k_0 Q}{2}$$

$$J = \frac{P_8 - P_{12} + 2\sqrt{2}k_0 O}{2k_0^2} \quad K = \frac{P_{14} - P_{18} + 2\sqrt{2}k_0 M}{2k_0^2} \quad L = \frac{P_2 - P_6 + 2\sqrt{2}k_0 N}{2k_0^2}$$

$$M = \frac{P_{17} - P_{15}}{4k_0} \quad N = \frac{P_5 - P_3}{4k_0} \quad O = \frac{P_{11} - P_9}{4k_0} \quad P = \frac{P_4 - P_1}{4k_0} \quad Q = \frac{P_{10} - P_7}{4k_0}$$

$$R = \frac{P_{16} - P_{13}}{4k_0}$$

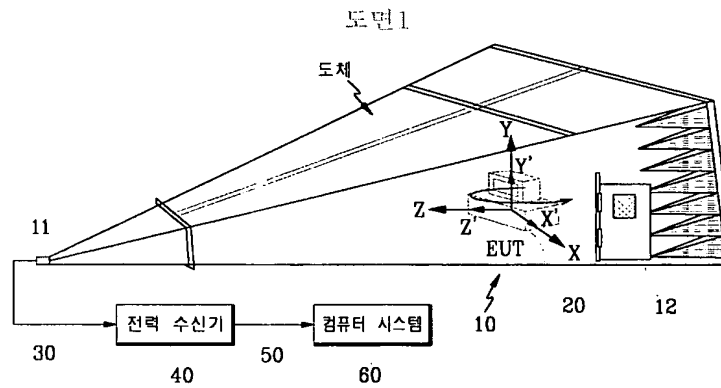
을 이용하여  $A + k_0^2 D$ ,  $B + k_0^2 E$ ,  $C + k_0^2 F$ ,  $G$  내지  $R$ 을 구하고, 이를 다이폴 모멘트로 모델링된 상기 피시험기기에 대한 복사 패턴  $[P(\theta, \phi)]$ 의 식인

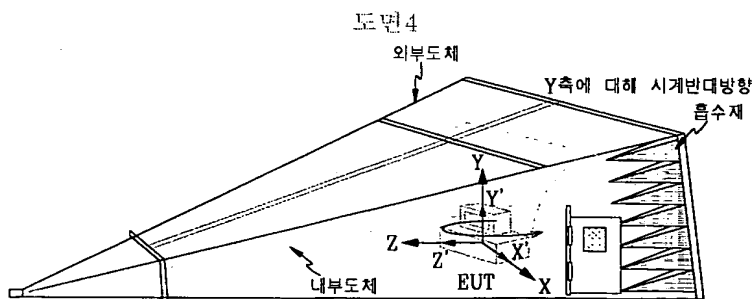
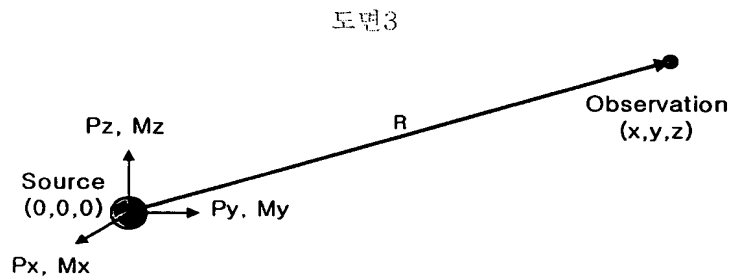
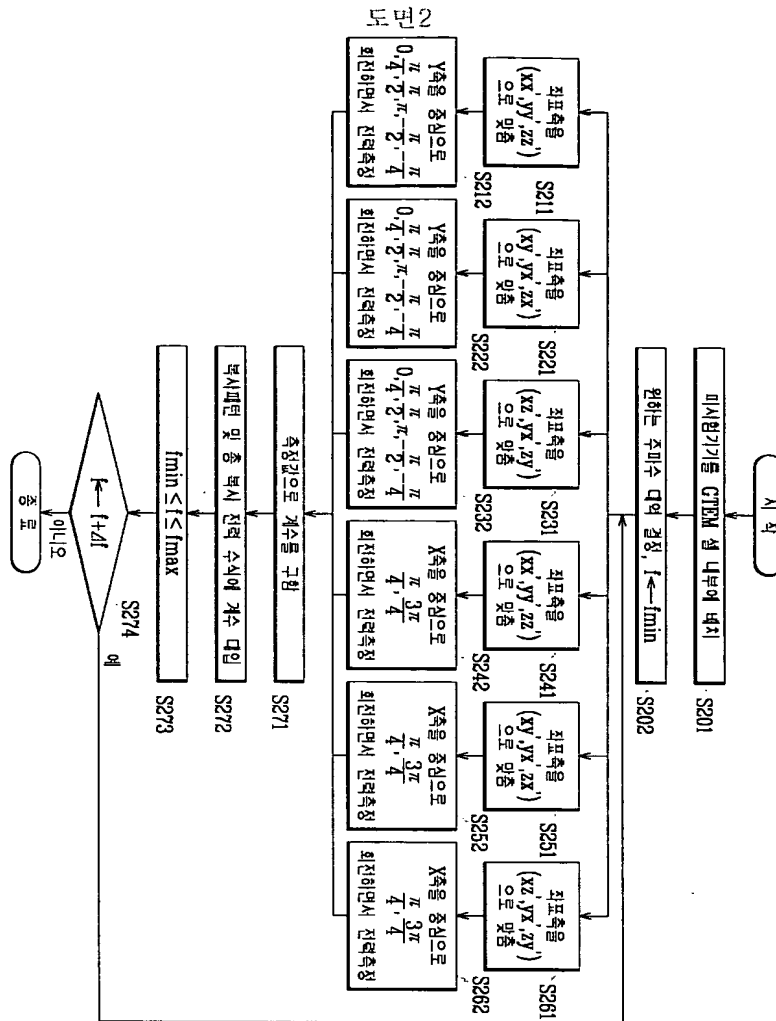
$$P(\theta, \phi) = \frac{15\pi}{r^2 \lambda^2} \left[ \begin{aligned} &(A + k_0^2 D)(\cos^2 \theta \cos^2 \phi + \sin^2 \phi) + (B + k_0^2 E)(\cos^2 \theta \sin^2 \phi + \cos^2 \phi) \\ &+ (C + k_0^2 F) \sin^2 \theta \\ &- 2\{G + k_0^2 J\} \sin^2 \theta \sin \phi \cos \phi - 2\{H + k_0^2 K\} \sin \theta \cos \theta \sin \phi \\ &- 2\{I + k_0^2 L\} \sin \theta \cos \theta \sin \phi \\ &+ 2k_0\{M - P\} \cos \theta + 2k_0\{N - Q\} \sin \theta \cos \phi \\ &+ 2k_0\{O - R\} \sin \theta \sin \phi \end{aligned} \right]$$

에 대입하여 자유 공간에서의 상기 복사 패턴을 예측하는

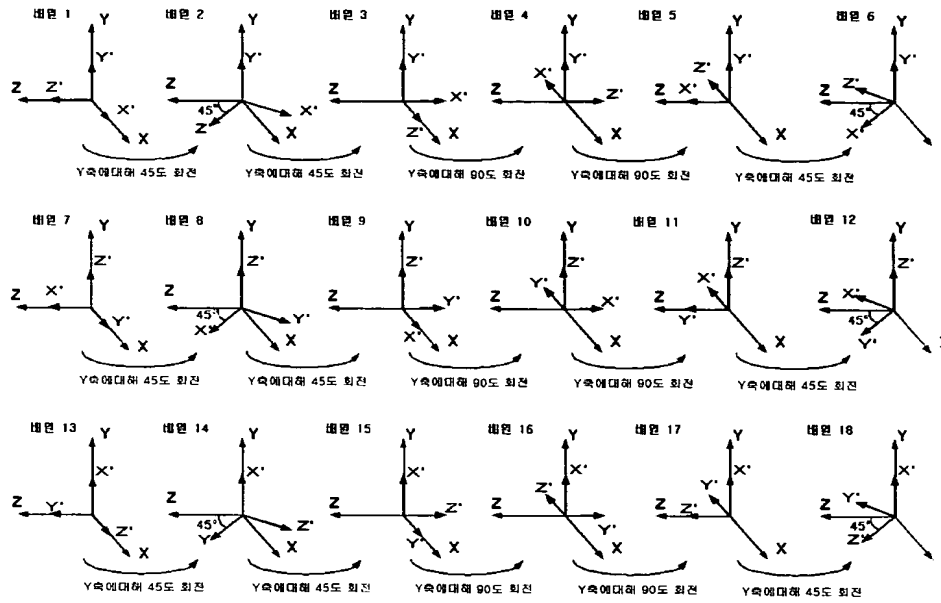
자유 공간에서의 전자파 복사 패턴 측정 시스템.

41

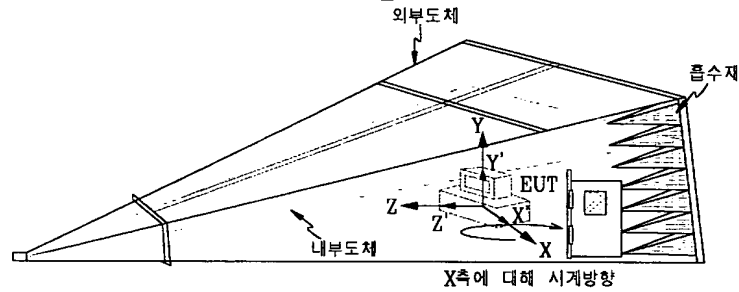




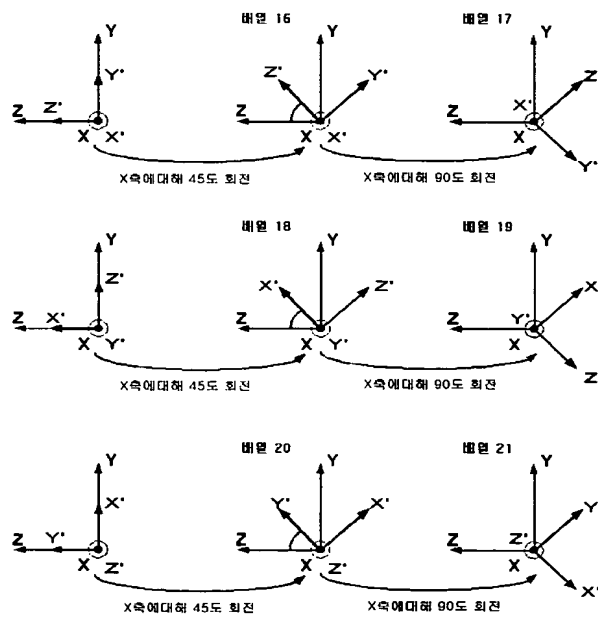
도면5



도면6



도면7



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**